FIZICA

MANUAL PENTRU CLASA A IX-A

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI – 1969

Scanned with OKEN Scanner

Toma Constantin

FIZICA

MANUAL PENTRU CLASA a IX-a

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI — 1963

Scanned with OKEN Scanner

Aprobat de Ministerul
Învățământului și Culturii
cu nr. 130878/1959

Autori:
N. Stănescu
A. Negulescu

HIDRO- ȘI AEROSTATICA

PROPRIETĂȚI GENERALE ALE FLUIDELOR. TRANSMITEREA PRESIUNII

1. **Introducere.** Apa și aerul joacă un rol deosebit de important în viața omului, nu numai din punct de vedere fiziologic, dar și tehnic. Din cele mai vechi timpuri, apa a fost folosită drept cale de transport, la alimentarea orașelor, la irigarea ogoarelor etc. În acest scop s-au construit plute, bărci și corăbii, s-au construit pompe pentru ridicarea apei, canale pentru conducerea ei, baraje pentru strîngerea rezervelor de apă. Ca să poată realiza asemenea lucrări, omul a trebuit să observe cu atenție și să studieze *echilibrul maselor de apă*, iar totalitatea cunoștințelor căpătate a format baza unei științe care s-a numit *hidrostatică*. Din această vreme ne-a rămas descoperirea lui Arhimede asupra plutirii corpurilor, făcută cu 300 de ani înaintea erei noastre.

Forța motoare a apei a fost folosită pentru a pune în mișcare roți, cu ajutorul cărora se ridica apa pentru irigația ogoarelor, sau se mișcau pietrele de măcinat cereale la morile de apă. De asemenea, forța motoare a vîntului a fost folosită la mișcarea corăbiilor cu pînze, iar mai tîrziu, la moara de vînt. Nevoia de a perfecționa aceste mașini a silit pe om să studieze *mișcarea apei și a aerului*, iar din rezultatele cercetărilor sale s-a născut știința numită *hidrodinamică* și *aerodinamică*.

Scopul acestor științe este să rezolve problemele cu privire la curgerea lichidelor și a gazelor, la plutirea corpurilor, la stabilitatea și apăsarea corpurilor care plutesc, la rezistența întîmpinată de corpurile care se mișcă în apă sau în aer. Lucrări importante în aceste domenii au făcut mulți învățați, dintre care menționăm pe Arhimede,

Scanned with OKEN Scanner

Torricelli, Pascal, Bernoulli, Jukovski ș.a. Studiul problemelor de hidrodinamică și aerodinamică a luat un mare avînt începînd din secolul al XIX-lea, cînd industria a intrat într-un ritm rapid de dezvoltare. Astăzi se folosesc masiv căderile de apă în uriașe hidrocentrale, se dezvoltă aviația cu motoare reactive etc.

Toate acestea impun cunoașterea în amănunt a curgerii lichidelor și a mișcării curenților de aer.

2. **Fluide.** Apa, laptele, petrolul etc. se numesc *lichide*. Aerul, bioxidul de carbon, oxigenul etc. se numesc *gaze*.

Între moleculele lichidelor se exercită forțe atractive, numite forțe de *coeziune*. Acestea țin moleculele la anumite distanțe unele de altele. Datorită lor, lichidele își păstrează volumul, indiferent de forma vasului în care sînt puse. Un litru de lapte își menține volumul, fie că este pus într-o sticlă, într-un balon sau într-un vas de bucătărie. Menținîndu-și volumul constant, lichidul pus într-un vas va avea o *suprafață liberă*, prin care se separă de aerul de deasupra lui. Totuși, *coeziunea lichidelor este mică*, de aceea ele nu-și păstrează forma, ci *iau forma vasului* în care sînt puse. Gazele nu au volum determinat; ele ocupă volumul întregului vas închis în care sînt puse. Această proprietate se numește *expansibilitate*. Expansibilitatea gazelor dovedește că moleculele gazelor nu se atrag între ele, de aceea ele se pot împrăștia în tot volumul vasului. Tot din această cauză, *gazele se pot comprima foarte mult și cu ușurință. Lichidele se comprimă foarte puțin*. Pe cînd un litru de apă supus la o presiune de 100 de atmosfere își micșorează volumul cu 4,7 cm^3, în aceleași condiții, un litru de aer își micșorează volumul cu 990 cm^3.

Tot din cauză că forța de coeziune a lichidelor este mică, iar la gaze nici nu poate fi luată în seamă, moleculele lichidelor și gazelor sînt foarte *mobile*, adică se pot mișca foarte ușor unele pe lîngă altele. Datorită mobilității moleculelor, *lichidele* și *gazele pot curge*, adică sînt **fluide**. Proprietatea comună a lichidelor și a gazelor de a curge este cea mai importantă asemănare a lor. Din această însușire fundamentală a lor decurg multe proprietăți și fenomene asemănătoare ale lichidelor și gazelor, ceea ce a făcut ca ele să poată fi studiate împreună sub numele de *fluide*, iar studiul lor a luat numele de *mecanica fluidelor*.

3. **Suprafața liberă a lichidelor în echilibru.** Toate lichidele și gazele au greutate, deoarece se găsesc sub acțiunea

Scanned with OKEN Scanner

forțelor de gravitație. Un lichid este în echilibru cînd nu curge, iar în interiorul lui nu există curenți de substanță, adică nu există mișcări ale părților lui. Pentru suprafețe nu prea întinse, forțele de gravitație care se exercită asupra moleculelor lichidului pot fi considerate ca paralele între ele și îndreptate vertical, în jos. Din această cauză, **suprafața liberă a unui lichid în echilibru este plană și orizontală.** Rezultatul acesta a fost stabilit de Arhimede, acum 2 200 de ani. Să presupunem că suprafața liberă a lichidului nu ar fi orizontală, ci înclinată; atunci greutatea G, care lucrează asupra unei molecule (fig. 1), ar avea o componentă tangențială F, care ar produce o deplasare a moleculei de-a lungul suprafeței libere. Dar noi am presupus că lichidul este în echilibru. Înseamnă atunci că forța de greutate nu trebuie să aibă o componentă tangențială, adică suprafața liberă a lichidului trebuie să fie perpendiculară pe forța de greutate, adică să fie plană și orizontală.

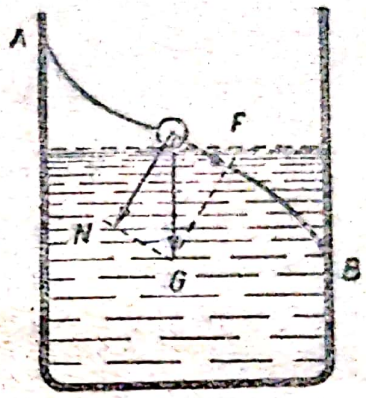

Fig. 1. — Suprafața liberă a unui lichid este plană și orizontală.

Dacă suprafața lichidului este foarte întinsă, de exemplu un lac sau o mare, atunci suprafața liberă este sferică, deoarece gravitatea în fiecare punct este îndreptată spre centrul pămîntului. Suprafața lichidelor se mai curbează și în vecinătatea pereților, deoarece în acest caz apar forțe care se compun cu forțele de greutate, iar rezultanta lor nu mai este verticală. Acest lucru îl vom studia mai tîrziu.

4. **Presiunea.** Se știe că presiunea este numeric egală cu forța care se exercită perpendicular pe unitatea de suprafață. Dacă o forță F acționează perpendicular pe o suprafață S, atunci valoarea presiunii p (exercitată pe acea suprafață) este dată de relația:

$$p = \frac{F}{S}. \qquad (1)$$

Această formulă definește și unitatea de presiune, dacă se dau unitățile de forță și de suprafață. Unitatea CGS de presiune se numește *microbar* (μ bar) sau *barie; ca este egală cu presiunea exercitată de o forță de o dynă pe o suprafață de 1 cm²*. Un bar valorează 10^6 μ bari. Unitatea MKS de presiune se

numește *newton pe metru pătrat* sau *pascal*. Această unitate este foarte mică pentru practică: $\left[p\right]_{MKS} = 1\frac{N}{m^2} = \frac{10^5 dyn}{10^4 cm^2} =$

$= 10\,\mu bar$ sau $1\,\mu bar = 10^{-1}\frac{N}{m^2}$. Deci 1 pascal = 10 μbar.

În practică se folosește deseori *atmosfera tehnică*, adică presiunea exercitată de o forță de 1 kgf pe suprafața de 1 cm². Se notează prescurtat *at*. Se observă ușor că:

$$1\ at = \frac{1\ kgf}{1\ cm^2} = \frac{9{,}8\cdot 10^5}{1}\ dyn/cm^2 = 9{,}8\cdot 10^5 \mu bar =$$
$$= 0{,}98\cdot 10^6 \mu\ bar \approx 1\ bar.$$

5. **Transmiterea presiunii prin fluide.** Deoarece lichidele și gazele au moleculele foarte mobile unele față de altele, ele au proprietatea de a transmite presiunea în toate direcțiile. Și solidele transmit presiunea exercitată asupra lor, dar nu în toate direcțiile. Dacă însă se apasă pe un fluid (lichid sau gaz) aflat într-un cilindru (fig. 2), se constată că *fluidul transmite presiunea în toate direcțiile*, deoarece moleculele fluidului sînt foarte mobile unele față de altele.

6. **Legea lui Pascal.** Să considerăm un vas plin cu un lichid, de exemplu apă (fig. 3). Vasul are două pistoane

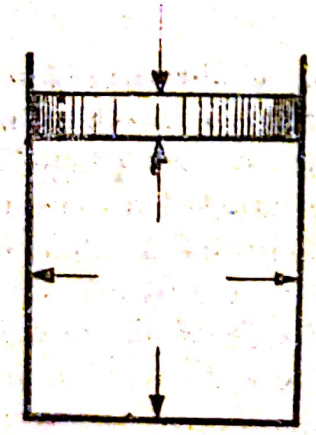

Fig. 2. — Transmiterea presiunii prin fluide.

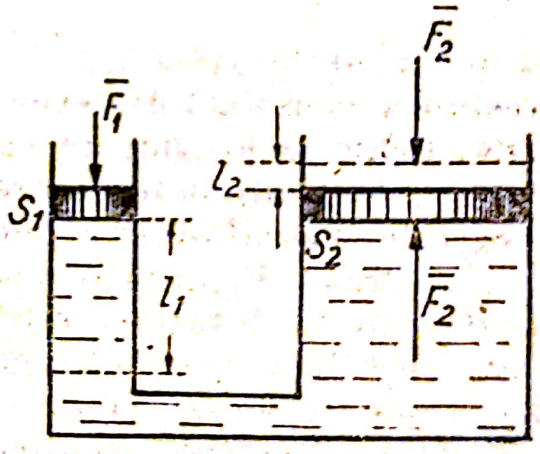

Fig. 3. — Demonstrarea legii lui Pascal.

mobile, cu suprafețele neegale $S_2 > S_1$. Dacă asupra pistonului S_1 apasă forța F_1, se constată că pistonul S_2 se deplasează, ceea ce dovedește că forța de apăsare se transmite prin lichid. Pentru a împiedica deplasarea pistonului S_2, acesta trebuie apăsat din exterior cu o forță F_2, egală cu apăsarea

Scanned with OKEN Scanner

transmisă de lichid. Presupunem că pistonul S_1 s-a deplasat pe o distanță l_1; pistonul S_2 se va deplasa pe o distanță l_2, așa încît cele două volume de lichid deplasate să fie egale, deoarece lichidul poate fi considerat practic incompresibil. Așadar:

$$\boxed{S_1 l_1 = S_2 l_2.} \qquad (2)$$

Pe baza legii conservării energiei, lucrul mecanic $W_1 = F_1 l_1$ consumat pentru deplasarea pistonului S_1 trebuie să fie egal cu lucrul mecanic $W_2 = F_2 l_2$ produs la deplasarea pistonului S_2, adică:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Dacă se împarte această relație membru cu membru prin relația (2) se obține:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2};$$

cei doi membri ai egalității găsite sînt tocmai presiunile exercitate asupra celor două pistoane. Aceste presiuni sînt egale, adică:

$$\boxed{p_1 = p_2.} \qquad (3)$$

Deducem următoarea lege:

Presiunea exercitată din exterior pe o porțiune din suprafața unui lichid închis într-un vas este transmisă prin lichid cu aceeași intensitate în toate direcțiile. Această lege este numită **legea lui Pascal**, după numele învățatului care a descoperit-o, în 1663. Reamintim că presiunea și apăsarea nu sînt același lucru. Apăsarea este forța exercitată normal pe întreaga suprafață și se mai numește *forță de presiune*, pe cînd presiunea este apăsarea exercitată numai pe unitatea de suprafață. *Presiunea transmisă de lichid este aceeași în toată masa lichidului, pe cînd forța de presiune este proporțională cu suprafața pe care o luăm în considerare.*

7. **Aplicații ale legii lui Pascal.** *Presa hidraulică.*

În figura 4 se observă reprezentarea schematică a unei prese hidraulice. Pentru ca pistonul mare să aibă o deplasare suficientă pentru a presa corpul C, pistonul cel mic funcționează ca la o pompă. Presiunea produsă la coborîrea

Scanned with OKEN Scanner

pistonului mic închide supapa V_1 și deschide supapa V_2, transmiţîndu-se prin canalul cu apă pînă la pistonul cel mare, care se ridică în sus. La ridicarea pistonului mic se produce o micșorare de presiune sub el, din care cauză se închide supapa V_2 și se deschide supapa V_1, prin care intră apă în corpul de pompă al pistonului mic. Operaţiile se repetă pînă ce deplasarea pistonului mare este cea necesară.

Presa hidraulică se folosește în foarte multe ramuri ale tehnicii:

— pentru scoaterea uleiului și a sucurilor din fructe;

— pentru încercarea rezistenței la compresiune a materialelor de construcție;

— pentru presarea în forme a materialelor plastice;

— pentru ștanțarea pieselor (imprimarea sau tăierea unei forme într-un material prin apăsare) și ca presă de forjat (prelucrarea unui metal prin deformare);

— pentru presarea fînului, a resturilor de tablă etc.;

— pentru ridicarea sarcinilor grele etc.

Frînă hidraulică. Transmiterea presiunii de către lichide este folosită și la frîna hidraulică, mai ales la automobile. Roata unui automobil nu poate fi frînată prin apăsare pe cauciucuri, deoarece s-ar strica prea repede. Pentru frînare, roţile au fixată la centru o cutie metalică, numită *tambur de frînare*. În interiorul tamburului de frînare se găsește discul de frînă, fixat pe axul roţii. Pe acest disc sînt montaţi doi saboţi de frînă S_1 și S_2 (fig. 5). Aceștia sînt articulaţi prin două bolţuri B_1 și B_2 (cuie) și sînt apropiaţi printr-un arc, pentru a nu se freca de tamburul de frînare, cînd roata se învîrtește. Capetele saboţilor sînt fixate de două pistoane, care se află într-un cilindru de frînă C plin cu lichid. Cilindrul de frînă comunică prin conducte cu cilindrul principal de frînă, al cărui piston este acţionat de pedala de frînă de sub piciorul conducătorului. Toată instalaţia este plină cu lichid. Cînd se apasă pedala P (fig. 6) pistonul P_1 produce presiunea asupra lichidului și acesta o transmite la pistoanele din cilindrul de frînă C de la roţi. Pistoanele îndepărtează saboţii care se freacă de tamburul de frecare și produc astfel frînarea roţilor.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Prin ce se aseamănă și prin ce se deosebesc lichidele de gaze?
2. Ce sînt fluidele?
3. Din ce cauză fluidele transmit presiunea în toate direcţiile?
4. Cum se explică formarea unei suprafeţe libere, orizontale, a lichidelor?
5. Ce deosebire este între presiune și forţă de presiune?
6. Cum se aplică legea conservării energiei la presa hidraulică?
7. Ce aplicaţii tehnice se bazează pe transmisia presiunii de către lichide?

Scanned with OKEN Scanner

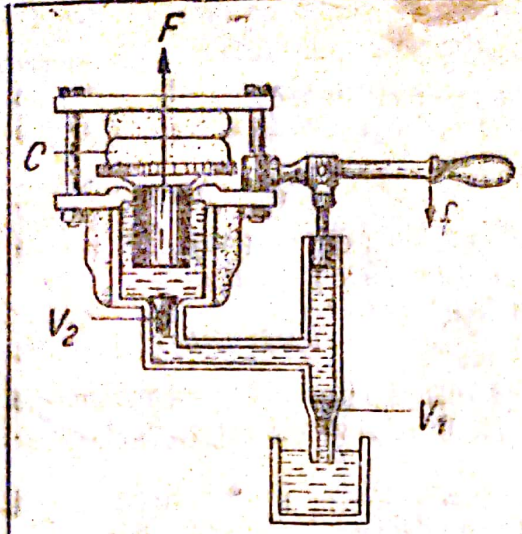

Fig. 4. — Schema unei prese hidraulice.

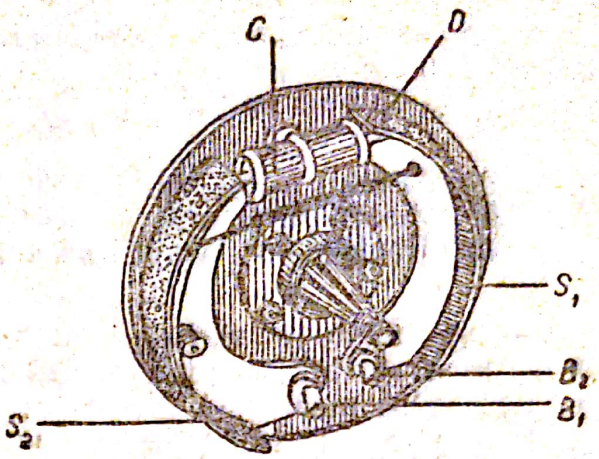

Fig. 5. — Frîna hidraulică.

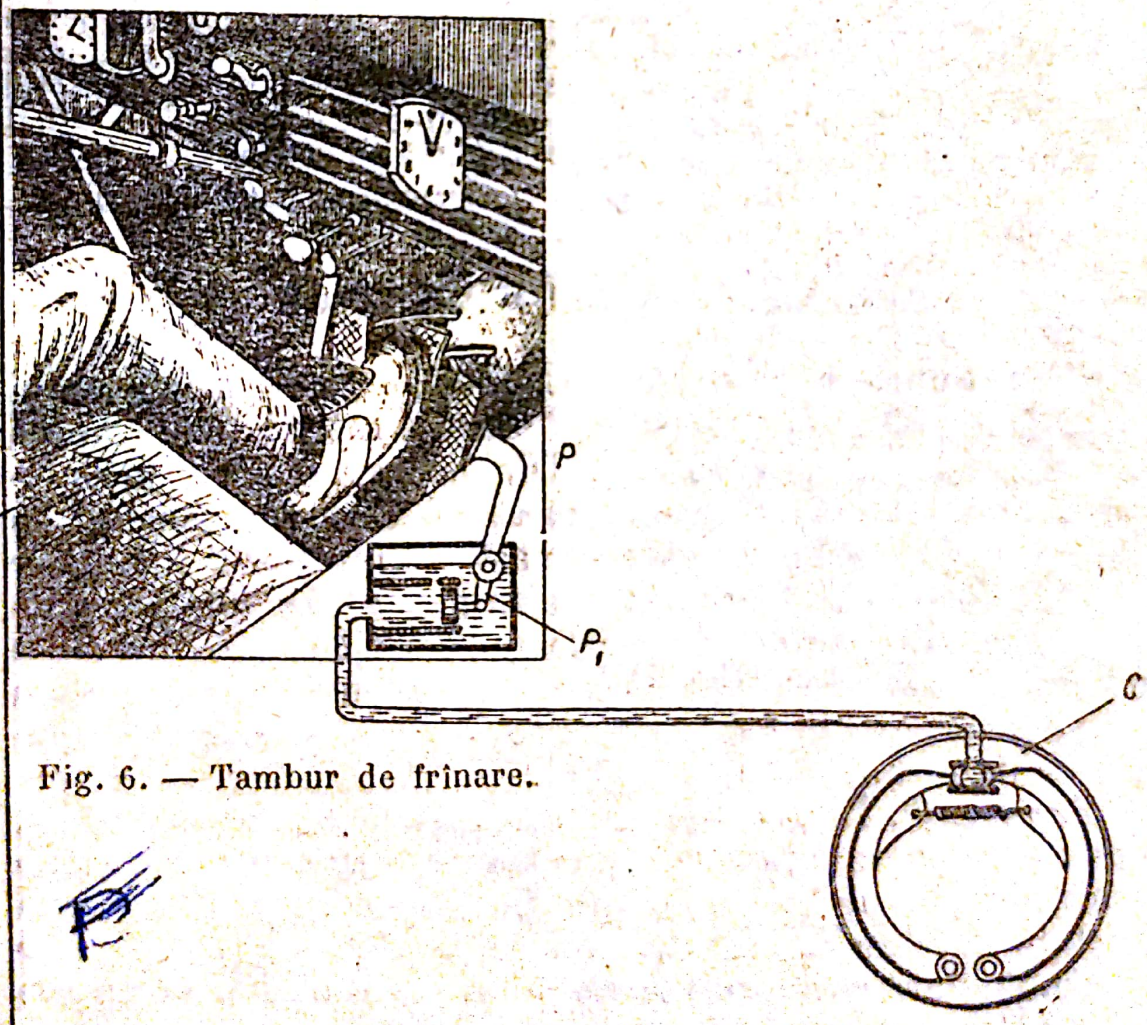

Fig. 6. — Tambur de frînare.

PROBLEME

1. Să se calculeze presiunea produsă asupra șinelor de către o locomotivă cu 6 osii, dacă ea cîntărește 60 t, iar suprafața de contact a fiecărei roți cu șina este de 5 cm².

Răspuns: 1 000 at.

2. Pe pistonul mic al unei prese hidraulice pentru scos ulei apasă 5 kgf. El coboară cu 15 cm, iar pistonul mare urcă cu 3 mm.

Ce forță acționează asupra pistonului mare?

Răspuns: 250 kgf.

3. După 50 de apăsări ale pistonului mic al unei prese hidraulice pentru presarea fînului, pistonul cel mare se ridică cu 30 cm. Diametrul pistonului mare este de 10 cm.

Ce diametru are pistonul cel mic, dacă la o singură apăsare el coboară cu 15 cm?

Răspuns: 2 cm.

4. Suprafețele pistoanelor unei prese hidraulice de forjat sînt respectiv de 2 cm² și 400 cm². Ce forță apasă pe pistonul mare și la ce înălțime se ridică, dacă la coborîrea pistonului mic cu 20 cm se efectuează un lucru mecanic de 10 kgm?

Răspuns: 10 tf; 1 mm.

5. Un bloc de metal de 90 tf trebuie ridicat la înălțimea de 60 cm cu ajutorul unei prese hidraulice. Presa este acționată de un motor de 4 CP, iar randamentul presei este de 75%. Știind că raportul ariilor pistoanelor este 1:100, să se determine cîte apăsări pe minut face pistonul mic, dacă la o apăsare el coboară cu 20 cm.

Răspuns: 75 de apăsări/min.

PRESIUNEA HIDROSTATICĂ

8. **Presiunea hidrostatică.** Lichidele, ca și gazele, sînt grele. Datorită greutății sale, fiecare strat de lichid apasă asupra straturilor de sub el. Din această cauză, în interiorul lichidelor iau naștere presiuni care se transmit în toate părțile. Presiunea care se naște în interiorul lichidelor datorită forțelor de greutate se numește *presiune hidrostatică*. Această presiune se exercită uniform în toate direcțiile lichidului. Datorită ei lichidele în repaus apasă asupra pereților vaselor în care sînt puse, precum și asupra corpurilor solide cufundate în lichid.

Experiență. Într-o cutie metalică, se face o deschidere A, cam de 1 mm diametru, iar cutia se leagă, printr-un tub de cauciuc, cu un vas B cu apă (fig. 7). Oricare ar fi poziția peretelui cu deschiderea A, vina de lichid care țîșnește este perpendiculară pe suprafața peretelui vasului, deci presiunea hidrostatică se exercită perpendicular pe pereții vasului.

Scanned with OKEN Scanner

Se poate arăta că forța de presiune din interiorul lichidului se exercită și pe suprafața corpurilor cufundate în lichid. Cu ajutorul unei sfori (fig. 8), se trage în sus un disc care închide capătul inferior al unui cilindru din sticlă. Dacă

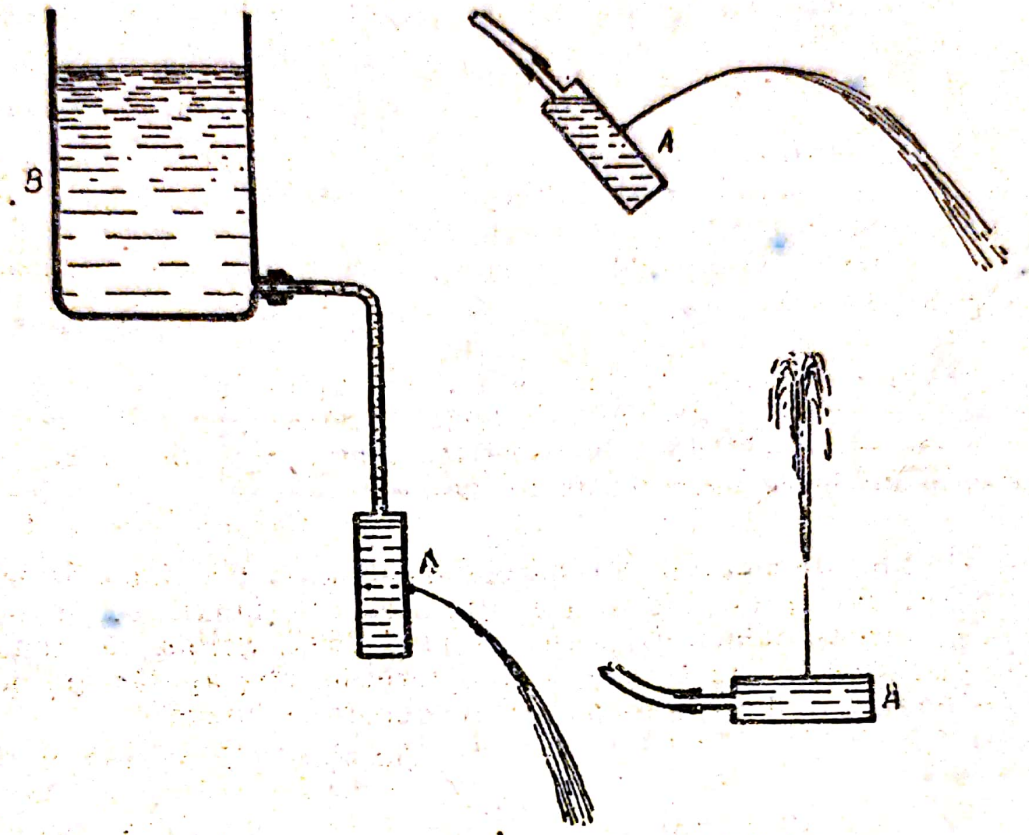

Fig. 7. — Presiunea este perpendiculară pe suprafață.

cilindrul este cufundat în apă, discul nu cade, chiar dacă este lăsat liber, în orice direcție s-ar înclina cilindrul. Această experiență dovedește că lichidul exercită o forță de presiune pe suprafața exterioară a discului. Forța de presiune se exercită în toate direcțiile — de sus în jos, de jos în sus și lateral.

Așadar, **în lichide se naște o presiune datorită greutății; această presiune se exercită în toate direcțiile normal pe orice porțiune din suprafața pereților vasului; ea se numește presiune hidrostatică.** Și în

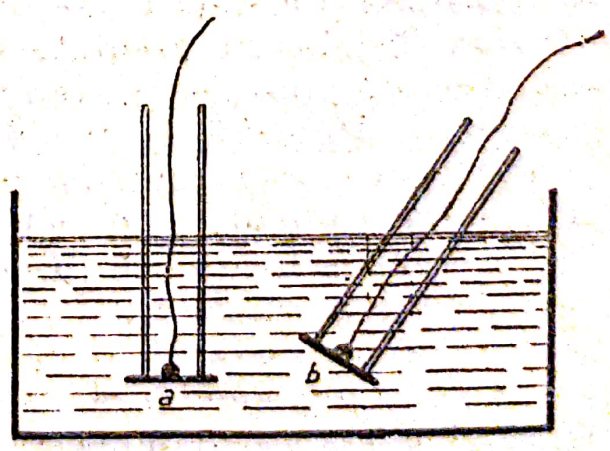

Fig. 8. — Presiunea de jos în sus.

gaze se nasc presiuni datorite greutății, cum vom vedea la studiul presiunii atmosferice.

9. **Mărimea presiunii hidrostatice.** *Experiență.* Într-un lichid aflat în echilibru, să introducem un cadru mic de sîrmă, pe care este întinsă o membrană subțire, de cauciuc (fig. 9, *a*). Ea nu se deformează, ceea ce dovedește că forțele de presiune F și F_1, exercitate pe cele 2 fețe de către lichid, sînt egale. Ca să măsurăm forța de presiune F, vom folosi o cutie mică C (fig. 9, *b*), avînd unul din funduri format

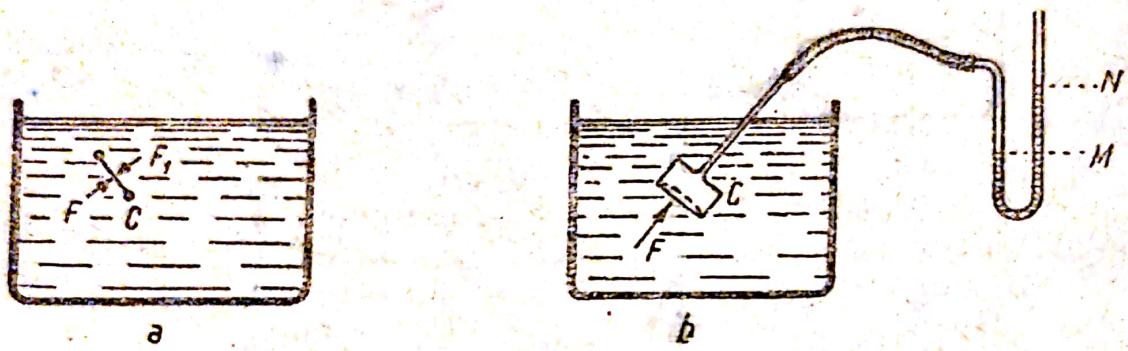

Fig. 9. — Capsulă manometrică.

dintr-o membrană subțire de cauciuc. Ea se numește *capsulă manometrică*. Printr-un tub de cauciuc capsula comunică cu un tub de sticlă în formă de U, folosit ca manometru, în care se găsește același lichid ca și cel de studiat. Se introduce capsula în vasul cu lichid, așa ca centrul membranei să fie în punctul din jurul căruia vrem să măsurăm forțele de presiune; în tubul U se produce o denivelare MN, care este cu atît mai mare, cu cît apăsarea F este mai mare. Forța de presiune rămîne însă aceeași, oricum am roti capsula în jurul punctului considerat. Urmează că forța de presiune exercitată pe fața membranei este practic independentă de orientarea ei.

Deducem următoarea *lege*: **presiunea exercitată de un lichid într-un punct din interiorul lui este aceeași în toate direcțiile lichidului.** Deplasînd capsula în diferite puncte aflate la aceeași adîncime, denivelarea MN din manometru rămîne aceeași. Cu alte cuvinte, un plan orizontal din lichidul aflat în echilibru este o suprafață de aceeași presiune. Ea se numește **suprafață de nivel.**

Dacă se cufundă treptat capsula manometrică în lichid, se constată că presiunea arătată prin denivelarea MN, produsă în tubul manometric, crește pe măsură ce crește adîncimea în lichid. Experiența arată că în fiecare moment

Scanned with OKEN Scanner

denivelarea MN este aproape egală cu adîncimea centrului membranei față de suprafața liberă a lichidului. Denivelarea MN este *aproape* egală, deoarece membrana nefiind perfect elastică nu transmite integral presiunea. Cu alte cuvinte, presiunea exercitată de lichid asupra membranei capsulei, aflată la o anumită adîncime în lichid este egală cu presiunea exercitată de o coloană din același lichid, avînd înălțimea egală cu adîncimea la care se găsește centrul membranei (presiune ce se datorează greutății coloanei de lichid).

Același rezultat poate fi obținut și pe cale teoretică. Considerăm o suprafață S la o adîncime h, într-un lichid cu densitatea ρ (fig. 10), aflat în echilibru. Această suprafață suportă apăsarea coloanei de lichid avînd suprafața S ca bază și adîncimea h ca înălțime. Forța de greutate G a acestei coloane de lichid va fi:

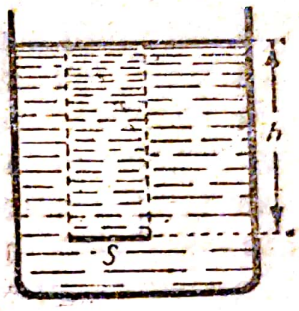

Fig. 10. — Calcularea presiunii hidrostatice.

$$G = mg = V\rho g = Sh\rho g,$$

unde m este masa coloanei de lichid, V este volumul ei, iar g este accelerația gravitației. Presiunea hidrostatică p la adîncimea h în lichid va fi apăsarea pe unitatea de suprafață $p = G/S$, adică:

$$\boxed{p = h\rho g.} \qquad (4)$$

Această formulă dă *valoarea presiunii hidrostatice într-un punct din lichid aflat la adîncimea h.*

Să aplicăm acest rezultat în două puncte A și B ale unui lichid în echilibru (fig. 11).

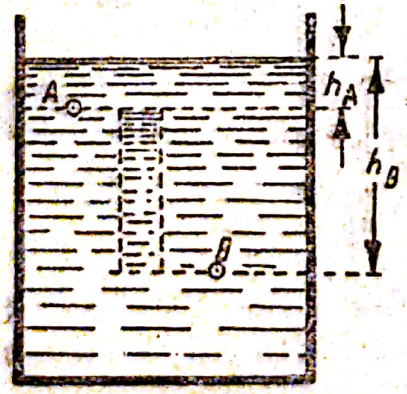

Fig. 11. — Diferența de presiune între 2 puncte.

În punctul A, presiunea hidrostatică va fi:

$$p_A = \rho g h_A.$$

Iar în punctul B, va fi:

$$p_B = \rho g h_B.$$

Diferența de presiune între cele două puncte va fi deci:

$$\boxed{p_B - p_A = \rho g(h_B - h_A),} \qquad (5)$$

rezultat care se numește principiul fundamental al hidrostaticii și poate fi

Scanned with OKEN Scanner

enunțat astfel: **Diferența de presiune între 2 puncte ale unui lichid în echilibru este egală cu greutatea unei coloane de lichid avînd baza de 1 cm², iar înălțimea egală cu distanța verticală dintre cele 2 puncte.**

10. **Presiunea laterală.** Experiența a arătat că presiunea exercitată de către un lichid într-un punct pe peretele lateral este egală cu greutatea unei coloane din acel lichid, avînd baza de 1 cm², iar înălțimea egală cu distanța verticală de la acel punct pînă la suprafața liberă a lichidului. Creșterea presiunii laterale cu adîncimea se observă ușor, lăsînd să curgă lichid dintr-un vas prin 3 deschideri făcute la diferite înălțimi; cu cît deschiderea este la adîncime mai mare, apa țîșnește cu viteză mai mare (fig. 12). În practică, trebuie să se țină seama de această presiune produsă de lichid asupra pereților. De exemplu, zidul unui baraj are grosimea din ce în ce mai mare către baza lui (fig. 13), pentru a nu se răsturna din cauza presiunii produse de apă, care crește spre bază. Un baraj este un zid care închide valea unui rîu pentru a forma un mare lac artificial, a cărui apă pune în mișcare o hidrocentrală. Un asemenea baraj avem la Bicaz; construcția sa a fost terminată în anul 1960.

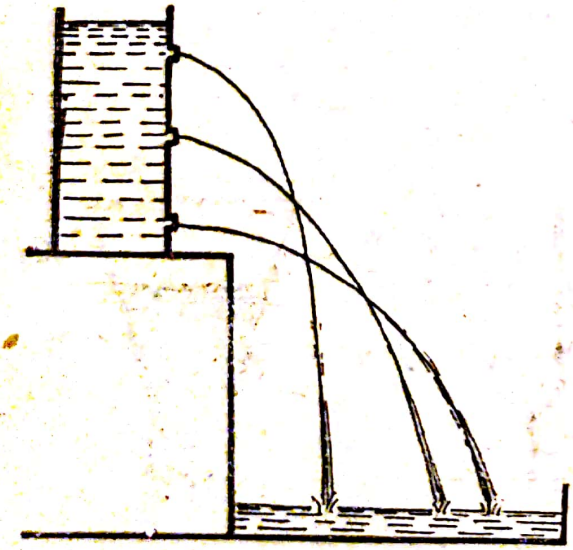

Fig. 12. — Presiunea laterală.

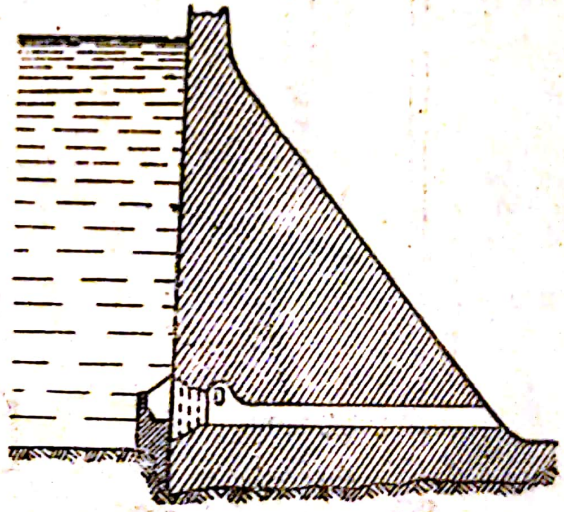

Fig. 13. — Secțiune în zidul unui baraj.

11. **Presiunea de jos în sus.** Experiența descrisă în § 8 a arătat existența presiunii îndreptate de jos în sus. Pentru a afla valoarea acestei presiuni, facem următoarea *experiență:*

Se toarnă apă în cilindru (fig. 8). Cînd apa din cilindru ajunge aproape la același nivel cu apa din exterior, discul se desprinde și cade, ceea ce dovedește că, în acest moment,

Scanned with OKEN Scanner

presiunile pe cele două fețe ale discului sînt egale. Discul cade datorită propriei sale greutăți. Așadar, în orice punct din interiorul unui lichid, **presiunea exercitată de lichid de jos în sus este egală cu presiunea exercitată de sus în jos.**

12. **Apăsarea lichidelor pe fundul vasului.** Sîntem obișnuiți să considerăm apăsarea pe fundul vasului ca fiind egală cu greutatea lichidului din vas, ceea ce nu este totdeauna exact. Să facem următoarea *experiență*: Un vas cilindric fixat într-un stativ are fundul format dintr-o placă atîrnată cu o sfoară bine întinsă de cîrligul unui dinamometru (fig. 14). Turnînd apă pînă la un nivel h, apa începe să se scurgă printre placă și gura vasului cilindric. Adăugînd puțină apă, placa se desprinde și apa curge, deoarece apăsarea pe fundul vasului depășește forța exercitată de resortul dinamometrului. Înălțimea h măsoară apăsarea pe fundul vasului. Dacă se repetă experiența cu vase de diferite forme, dar cu baza de aceeași mărime, se constată că, pentru a produce aceeași apăsare pe fundul vasului, trebuie să turnăm lichidul pînă la aceeași înălțime h, în fiecare vas.

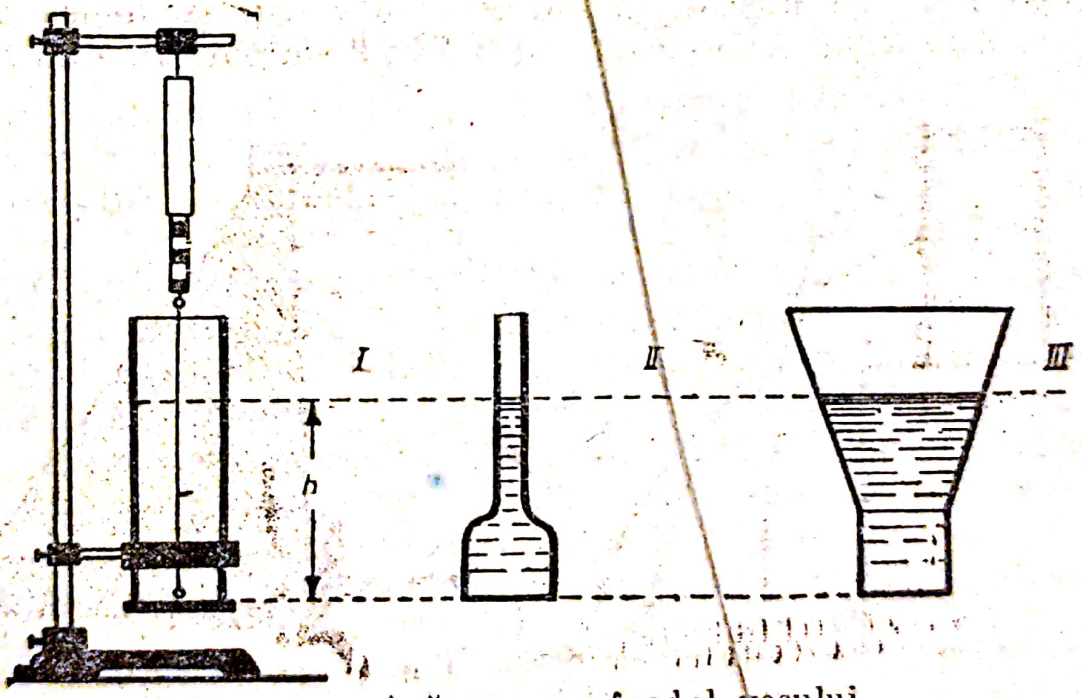

Fig. 14. — Apăsarea pe fundul vasului.

Se deduce următoarea lege: **Apăsarea produsă de un lichid pe fundul vasului în care se găsește este egală cu greutatea unei coloane de lichid care are ca bază fundul vasului, iar ca înălțime distanța verticală de la fundul vasului pînă la suprafața liberă a lichidului.** Rezultatul a fost stabilit de S. Stevin, în anul 1568. Se poate deci trage concluzia că

Scanned with OKEN Scanner

apăsarea pe fundul unui vas nu depinde de forma vasului, ci numai de *suprafața bazei*, de *înălțimea lichidului*, precum și de *densitatea lui*. Acest rezultat este cunoscut de obicei sub numele de **paradoxul hidrostatic**, deoarece este opus părerii generale, neaprofundată asupra fenomenului.

Privind vasele *B* și *C* din figura 15, se găsește explicația fenomenului. Presiunea *p* exercitată de lichid asupra pere-

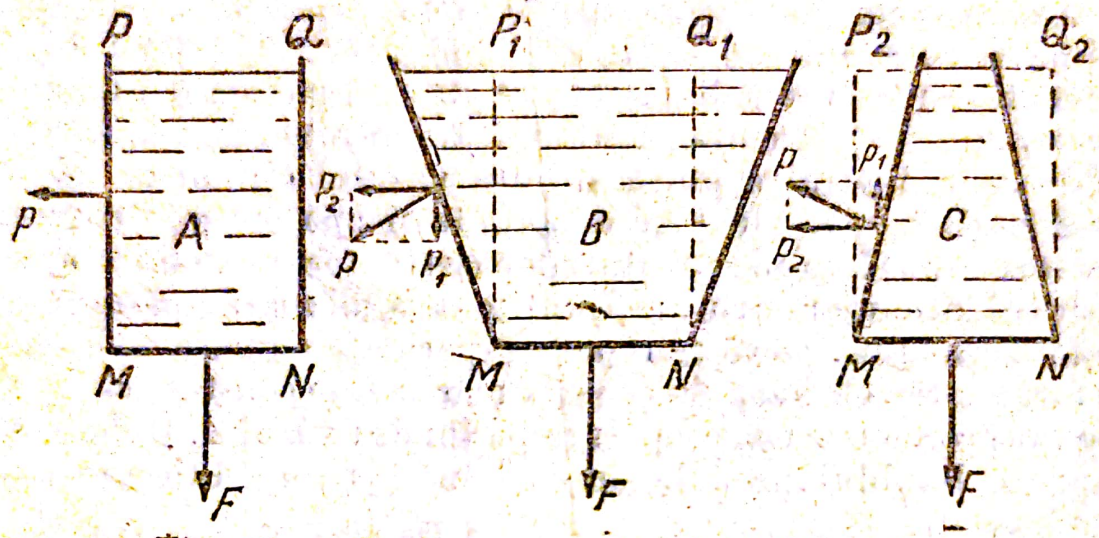

Fig. 15. — Explicarea paradoxului hidrostatic.

ților laterali atît la vasul *B* cît și la vasul *C* se poate descompune în două componente, una p_1 verticală și alta p_2 orizontală. Componentele p_2 orizontale, considerate în jurul fiecărui vas, se echilibrează, deoarece au aceleași valori la aceeași adîncime. Componenta verticală p_1, în cazul vasului *B*, se exercită asupra pereților laterali, și nu asupra fundului vasului. Lichidul apasă asupra fundului ca și cum ar fi numai o coloană MNQ_1P_1. În cazul vasului *C*, componenta verticală p_1 este dirijată în sus, asupra peretelui. Peretele reacționează asupra lichidului, în jos, cu o valoare egală. Această reacțiune se transmite asupra fundului. Lichidul apasă asupra fundului ca și cum ar fi o coloană de lichid MNQ_2P_2.

13. **Lichide de densități diferite aflate în vase comunicante.** Mai multe vase cu aceeași formă sau cu forme diferite, care comunică între ele prin partea inferioară, se numesc *vase comunicante*. Experiența arată că:

În vase comunicante un lichid se ridică la același nivel, chiar dacă secțiunile lor sînt diferite.

Cîteva din aplicațiile practice ale vaselor comunicante sînt: 1) *Nivela cu apă* care servește inginerilor topometri pentru ridicările pe teren. 2) *Fîntînile arteziene*. 3) *Apeductele* folosite pentru alimentarea cu apă a orașelor.

Să considerăm două lichide diferite, care nu se amestecă între ele și nici nu reacționează chimic unul cu altul, ca de exemplu: apă și mercur, apă și ulei, apă și petrol etc. Într-un sistem de două vase comunicante, turnăm mai întîi lichidul mai greu, să zicem mercur (fig. 16). El va avea același nivel AB în ambele ramuri. Deasupra ramurii din stînga turnăm apă. Nivelul mercurului coboară în N datorită apăsării produse de coloana de apă NS. În ramura din dreapta, nivelul mercurului urcă în Y, pînă ce apăsarea produsă de coloana de mercur GY echilibrează apăsarea produsă de coloana de apă NS. Se măsoară cu o riglă gradată înălțimile h_1 și h_2 ale coloanelor de mercur și apă și se constată că raportul lor este egal cu raportul invers al densităților ρ_1 și ρ_2 ale mercurului și apei. În adevăr, planul NG trebuie să fie o suprafață de nivel, deoarece lichidul se află în echilibru. Urmează că presiunea hidrostatică $p_1 = \frac{G_1}{S_1}$, exercitată de greutatea coloanei de mercur GY pe suprafața S_1 a mercurului la nivelul G, trebuie să fie egală cu presiunea hidrostatică $p_2 = \frac{G_2}{S_2}$, exercitată de greutatea coloanei de apă NS pe suprafața S_2 a mercurului, la același nivel NG în ramura din stînga. După cum știm, greutățile coloanelor de mercur și apă vor fi:

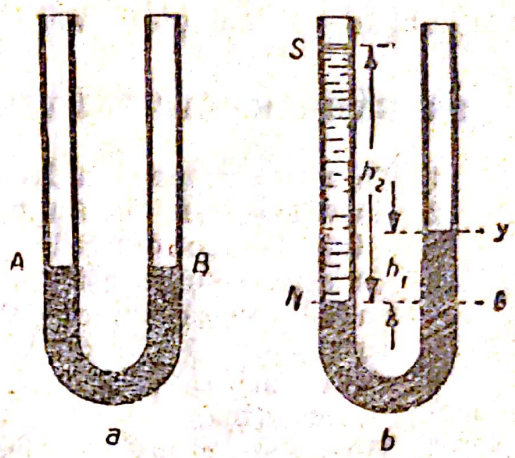

Fig. 16.—Lichide de densități diferite în vase comunicante.

$$G_1 = S_1 h_1 \rho_1 g \text{ și } G_2 = S_2 h_2 \rho_2 g.$$

Înlocuind în formulele celor două presiuni hidrostatice pe G_1 și G_2 prin expresiile lor și ținînd seama că $p_1 = p_2$, se va obține:

$$\frac{S_1 h_1 \rho_1 g}{S_1} = \frac{S_2 h_2 \rho_2 g}{S_2} \quad \boxed{\text{sau } h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2,} \tag{6}$$

care se mai poate scrie:

$$\boxed{\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}}. \tag{7}$$

Acest rezultat obținut teoretic este la fel cu acela dat de experiență.

Două lichide diferite, care nu se pot amesteca unul cu altul, aflate în echilibru în vase comunicante, au înălțimile invers proporționale cu densitățile lor.

Această experiență se poate folosi la determinarea densității unuia dintre lichide, cunoscînd densitatea celuilalt și măsurînd distanțele verticale h_1 și h_2.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este presiunea hidrostatică și din ce cauză ia naștere?
2. Ce valoare are presiunea hidrostatică și în ce direcție se exercită? De ce depinde valoarea ei?
3. Ce este o suprafață de nivel?
4. În ce constă principiul fundamental al hidrostaticii?
5. În ce constă paradoxul hidrostatic, și cum se explică?
6. Cum variază presiunea laterală și cum se ține seama de ea în practică?
7. De ce se ridică la același nivel un lichid aflat în vase comunicante?
8. Ce aplicații ale vaselor comunicante în viața practică cunoașteți?
9. Ce se va întîmpla dacă într-un cilindru vom pune mai multe lichide diferite, dar care nu se pot amesteca între ele?

PROBLEME

1. Să se calculeze forța de presiune (apăsarea) pe fundul unui vas, dacă aria fundului vasului este de 60 cm², iar vasul este umplut cu alcool pînă la înălțimea de 0,5 m.

Răspuns: 2,37 kgf.

2. Într-un cilindru care conține mercur se introduce un tub de sticlă, nu prea subțire (fig. 17). Se umple apoi cilindrul cu apă și se constată că mercurul se ridică în tubul de sticlă. De ce? Cum s-ar putea determina densitatea mercurului cu ajutorul acestei experiențe?

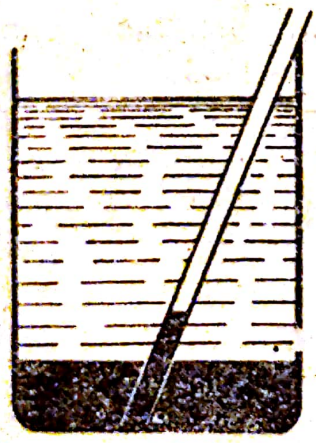

Fig. 17. — Cilindru cu mercur.

3. Adîncimea maximă în Marea Neagră este de 2 243 m. Care este presiunea la această adîncime pe fundul mării?

Răspuns: 224,3 atm.

4. Ce presiune are aerul dintr-un cheson (clopot de scafandru) coborît pentru lucrări pe fundul unui rîu, la adîncimea de 6,8 m, dacă presiunea atmosferică este de 760 torr. Un torr este presiunea exercitată de o coloană de mercur cu înălțimea de 1 mm. Să se exprime rezultatul în atmosfere și în μ bari.

Răspuns: 1,658 atm $\cong 1{,}71 \times 10^6$ μ bari.

5. În fundul unui vas plin cu alcool s-a făcut o deschidere cu aria de 20 cm². Pentru a opri curgerea alcoolului, se acoperă deschiderea cu

Scanned with OKEN Scanner

o placă, ce trebuie apăsată cu 12 kgf. Ce nivel are alcoolul din vas, dacă placa cîntărește 0,5 kg?

Răspuns: 7,28 m.

6. O grindă paralelipipedică din lemn, avînd muchiile de 100 cm, 20 cm și 25 cm, cîntărește 30 kg și este cufundată în întregime sub apă, așa încît fața ei laterală cea mai mare este în sus, la 0,2 m sub nivelul apei. Să se calculeze:

a) apăsarea produsă de apă asupra fețelor de sus și de jos ale grinzii;

b) direcția și mărimea forței care trebuie aplicată în centrul grinzii pentru a o reține în această poziție.

Răspuns: 50 kgf; 100 kgf; 20 kgf îndreptată în jos.

7. Într-un tub în formă de U se află mercur. Într-o ramură se toarnă alcool, iar în cealaltă glicerină, pînă cînd ajung la același nivel în ambele ramuri. Știind că înălțimea coloanei de alcool este de 32 cm, să se afle diferența de nivel a mercurului în cele 2 ramuri.

Răspuns: 12,2 mm.

LEGEA LUI ARHIMEDE ȘI APLICAȚIILE EI

14. **Legea lui Arhimede.** Una din primele legi ale fizicii descoperite experimental este legea lui Arhimede, stabilită cu 240 de ani înaintea erei noastre. Ea este o consecință a presiunii hidrostatice, care se exercită pe toate fețele unui corp cufundat complet într-un lichid.

Experiență. Se așază o balanță pe un bloc *B* sau pe un scaun (fig. 18, *a*). Pe unul din platane se așază un pahar *P*, iar de același platan se atîrnă un corp oarecare *C*. Se echilibrează balanța cu masa *M*, pusă pe celălalt platan. Corpul se introduce complet într-un vas cu apă (fig. 18, *b*) și se constată că balanța se înclină, ca și cum corpul ar fi devenit mai ușor; deci *apa împinge în sus corpul cufundat în ea*. Cît de mare este această forță de împingere? Ca să răspundem la această întrebare, continuăm experiența, punînd în paharul *P* atîta apă, pînă ce echilibrul se restabilește (fig. 18, *c*). Înseamnă că greutatea apei pusă în pahar este egală cu forța cu care apa împinge corpul în sus. Măsurăm volumul apei din pahar cu ajutorul unui cilindru gradat. Măsurînd și volumul corpului *C* tot cu cilindrul gradat, constatăm că volumul apei puse în pahar este egal cu volumul corpului cufundat. Prin urmare, *greutatea apei care echilibrează forța cu care este împins corpul în sus este egală cu greutatea volumului de apă dezlocuit de*

Scanned with OKEN Scanner

corp. Repetînd experiența cu alte lichide (petrol, alcool etc.), se ajunge la același rezultat.

Din aceste experiențe se trage următoarea concluzie, care se numește **legea lui Arhimede:**

Un corp cufundat într-un lichid este împins de jos în sus cu o forță egală cu greutatea volumului de lichid dezlocuit de acel corp.

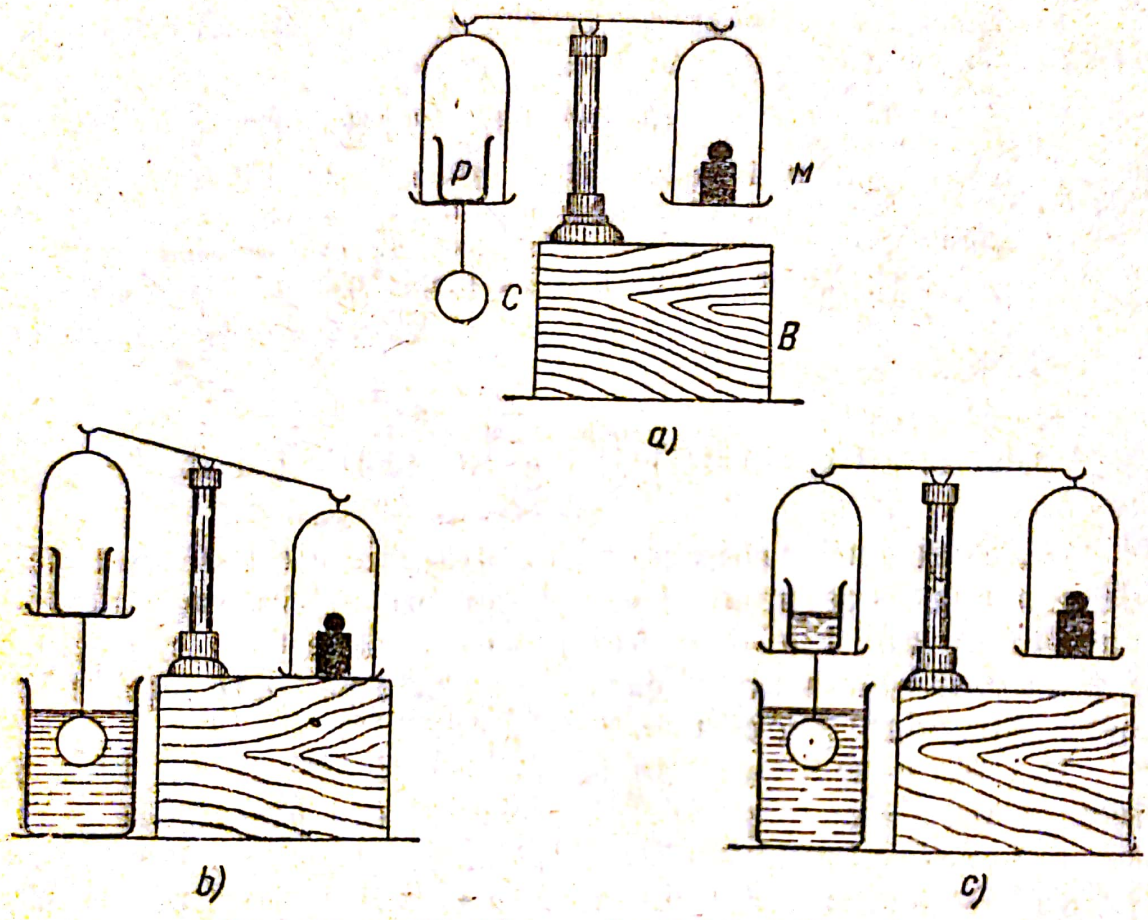

Fig. 18. — Verificarea legii lui Arhimede.

Legea lui Arhimede poate fi dedusă teoretic din legile presiunii hidrostatice. Considerăm un vas în care se găsește un lichid cu densitatea ρ aflat în echilibru. În lichid se cufundă complet un corp omogen de formă regulată $ABDE$ (fig. 19). Datorită presiunii hidrostatice, lichidul exercită forțe de presiune pe toate fețele corpului cufundat. Care este rezultanta acestor forțe? Forțele de presiune F_3 și F_4, exercitate perpendicular pe fețele laterale, vor fi egale și de semn contrar, aflîndu-se la aceeași adîncime în lichid. Rezultanta lor va fi nulă $F_3 - F_4 = 0$.

Prin urmare, rezultanta căutată va fi:

$$F = F_2 - F_1.$$

Forța F_1 exercitată perpendicular pe suprafața superioară a corpului va fi îndreptată în jos și va avea valoarea:

$$F_1 = p_1 S = \rho g h_1 S.$$

Forța F_2, exercitată perpendicular pe suprafața inferioară a corpului, va fi îndreptată în sus și va avea valoarea:

$$F_2 = p_2 S = \rho g h_2 S,$$

F_2 este mai mare decît F_1, deoarece $h_2 > h_1$.

Rezultanta F a acestor forțe produse de presiunea hidrostatică asupra corpului va fi egală cu:

$$F = F_2 - F_1 = S(h_2 - h_1)\rho g$$

și va fi îndreptată în sus.

Prin urmare, forțele exercitate de lichid asupra corpului cufundat dau o rezultantă F îndreptată în sus.

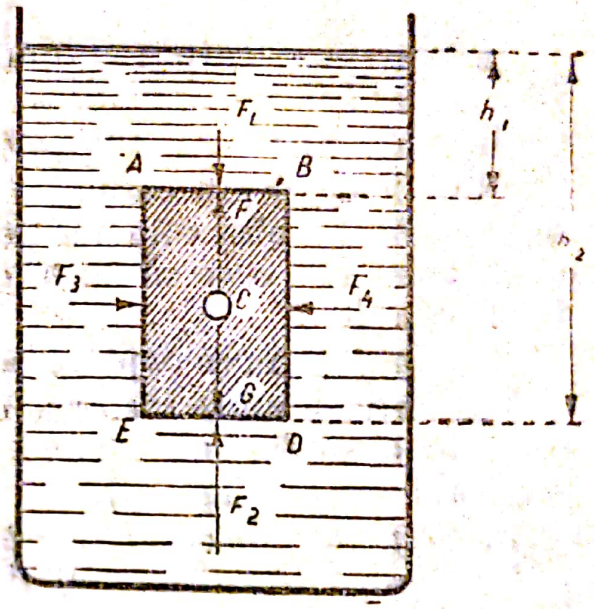

Fig. 19. — Demonstrarea teoretică a legii lui Arhimede.

Această forță de împingere în sus, produsă de către lichid asupra corpului cufundat în el, se numește **forță arhimedică**. Forța arhimedică are punctul de aplicație în centrul de greutate al lichidului dezlocuit de corp. Punctul de aplicație al forței arhimedice se numește **centru de presiune**.

Ce valoare are forța arhimedică? În formula de mai sus se observă că expresia $S(h_2 - h_1) = V$ reprezintă volumul corpului, deci și volumul de lichid dezlocuit de corp. Atunci forța arhimedică va fi $F = V\rho g = mg = G_l$ deoarece expresia $V\rho = m$ reprezintă masa lichidului dezlocuit, iar $mg = G_l$ reprezintă greutatea volumului de lichid dezlocuit de corpul cufundat. Așadar: corpul cufundat în lichid este *împins de jos în sus cu o forță F egală cu greutatea volumului de lichid dezlocuit de corp*. Ca urmare a legii a treia a mecanicii, corpul cufundat într-un lichid apasă la rîndul său de sus în jos asupra lichidului în care este cufundat.

Legea lui Arhimede se aplică și la gaze.

15. **Plutirea corpurilor.** În cele de mai sus nu ne-am ocupat de greutatea corpului cufundat. Această greutate este o forță G aplicată în centrul de greutate al corpului.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece corpul cufundat a fost presupus omogen, centrul său de greutate coincide cu centrul de presiune.

Se pot întîmpla trei cazuri.

a. *Greutatea corpului G este egală cu forța arhimedică*, adică:

$$G = F.$$

În acest caz, corpul cufundat fiind omogen stă în echilibru în interiorul lichidului, în orice poziție. Aceasta este condiția de plutire a submarinului.

Dacă însă corpul cufundat nu este omogen, centrul său de greutate nu mai coincide cu centrul de presiune. Pentru ca un asemenea corp să fie în echilibru stabil, sînt necesare două condiții:

— pentru a nu se deplasa pe verticală trebuie ca: $G = F$;

— pentru a nu se răsturna este necesar ca centrul său de greutate C să fie sub centrul de presiune P și pe aceeași verticală cu el (fig. 20).

b. *Greutatea corpului G este mai mare decît forța arhimedică*, adică $G > F$; corpul fiind mai greu decît volumul de lichid dezlocuit cade la fundul lichidului. Diferența dintre greutatea corpului G și forța arhimedică F se numește **greutate aparentă** $G_a = G - F$.

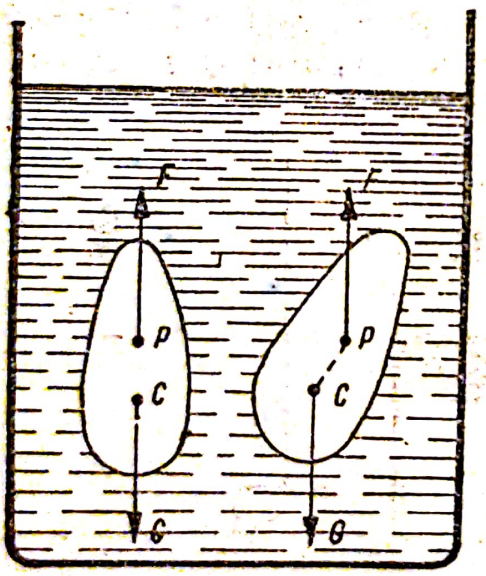

Fig. 20. — Plutirea corpurilor total cufundate în lichid.

c. *Greutatea corpului G este mai mică decît forța arhimedică*, adică: $G < F$; corpul fiind mai ușor decît volumul de lichid dezlocuit, se urcă pînă la suprafața lichidului. Pe măsură ce corpul iese din lichid, volumul lichidului dezlocuit scade, forța arhimedică se micșorează, pînă cînd, la un moment dat, ea devine egală cu greutatea corpului. În acest moment se realizează condiția de plutire a corpurilor parțial cufundate în lichid: $G = F'$. Greutatea corpului este egală cu greutatea F' a volumului de lichid dezlocuit de către partea corpului aflată sub suprafața liberă a lichidului. Aceasta este condiția de plutire a vapoarelor. Diferența dintre forța arhimedică

Scanned with OKEN Scanner

(cînd corpul ar fi complet cufundat în lichid) și greutatea corpului G se numește **forță de ascensiune**:

$$F_a = F - G.$$

16. **Determinarea densității corpurilor pe baza legii lui Arhimede. Densitatea** unui corp este **mărimea fizică numeric egală cu masa unității de volum**, din acel corp. Notînd cu ρ densitatea, cu m masa și cu V volumul corpului, densitatea lui va fi:

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}.} \qquad (8)$$

În sistemul *CGS* densitatea se exprimă în grame pe centimetru cub, iar în sistemul *MKS* densitatea se exprimă în kilograme pe metru cub.

Prin *densitate relativă* se înțelege **raportul dintre masa unui corp și masa unui volum egal de apă distilată la 4°C.** Densitatea relativă d a unui corp $d = \frac{m}{m_0}$ este o mărime fără dimensiuni, adică este un număr abstract.

Densitatea se poate determina pe baza legii lui Arhimede.

a. *La solide.* Pentru a determina densitatea ρ a unui corp C se echilibrează mai întîi acest corp în aer, atîrnîndu-l de talerul unei balanțe. Masa marcată m, care echilibrează corpul în aer, reprezintă masa m a corpului (fig. 21, *a*).

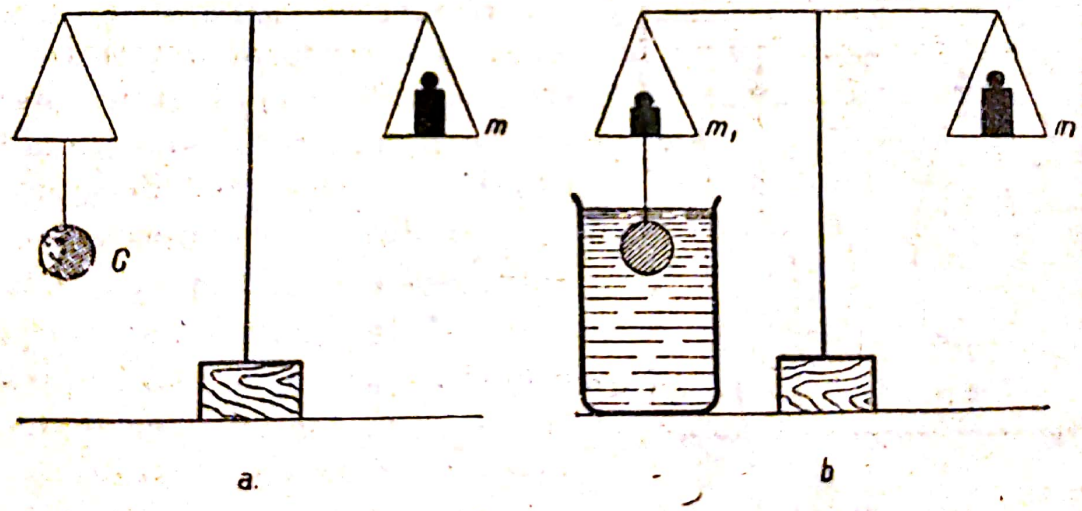

Fig. 21. — Determinarea densității corpurilor solide.

Se introduce apoi corpul în apă distilată; balanța se dezechilibrează. Pentru echilibrarea ei trebuie să se pună pe platanul de care este atîrnat corpul (fig. 21, *b*) o masă marcată m_1, care reprezintă masa volumului de apă

Scanned with OKEN Scanner

dezlocuit de corp, adică $m_1 = \rho_0 V$, unde $\rho_0 = 1 \frac{g}{cm^3}$ este densitatea apei distilate. Pe baza formulei (8), densitatea corpului va fi:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{m_1} \rho_0.$$

b. *La lichide.* Pentru determinarea densității unui corp lichid se folosește un corp solid oarecare C, numit *plutitor*. Se atîrnă plutitorul C de talerul unei balanțe și se echilibrează balanța în aer cu mase nemarcate A (alice, nisip etc.), puse pe celălalt taler (fig. 22). Se cufundă apoi plutitorul în apă distilată și se echilibrează balanța cu masa marcată m_1, care se așază pe talerul de care este atîrnat corpul (fig. 21, *b*); $m_1 = V\rho_0$ reprezintă masa volumului V de apă distilată dezlocuit de plutitorul C. Se cufundă apoi plutitorul în lichidul a cărui densitate trebuie determinată și se echilibrează balanța cu o altă masă m_2. Această masă m_2, pusă în locul masei m_1 reprezintă masa volumului de lichid dezlocuit de același plutitor C, adică $m_2 = V\rho$, unde ρ este densitatea lichidului.

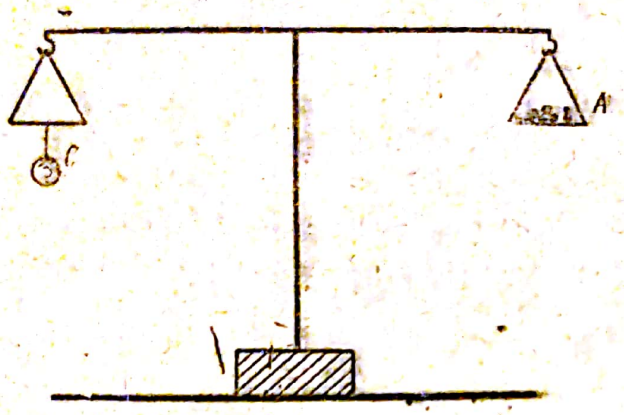

Fig. 22. — Determinarea densității corpurilor lichide.

Densitatea lichidului va fi deci:

$$\rho = \frac{m_2}{V} = \frac{m_2}{m_1} \rho_0.$$

Densitatea apei distilate fiind $\rho_0 = 1$ g/cm³, se poate considera $\rho = \frac{m_2}{m_1}$ g/cm³ sau ca densitate relativă: $d = \frac{m_2}{m_1}$.

c. *Corp solubil în apă.* Cînd corpul C este solubil în apă sau este mai puțin dens decît apa, se determină mai întîi densitatea ρ a corpului față de un alt lichid în care nu se dizolvă, dar în care se cufundă:

$$\rho = \frac{m}{m_1} \rho_1.$$

Scanned with OKEN Scanner

Se determină apoi densitatea $\rho_1 = \frac{m'}{m''} \rho_0$ a lichidului față de apă. Densitatea ρ a corpului va fi în acest caz:

$$\rho = \frac{m}{m_1} \times \frac{m'}{m''} \rho_0.$$

Densitatea corpului față de lichid se determină ca la punctul *a*, iar densitatea ρ_1 a lichidului față de apă se determină ca la punctul *b*.

17. **Areometre.** Pentru a determina densitatea unui lichid în mod rapid și fără ajutorul balanței, se folosește areometrul. Un areometru este un plutitor cilindric de sticlă, continuat la partea de sus cu o tijă lungă și cît se poate de subțire. În partea inferioară are un mic balonaș care se umple cu alice sau mercur, servind ca lest. Acest lest joacă două roluri. Pe de o parte, servește la reglarea greutății plutitorului la o anumită valoare ca să se cufunde pînă la un anumit semn de pe tijă, atunci cînd este cufundat în apă distilată. Pe de altă parte, face ca centrul de greutate al plutitorului (fig. 23) să fie sub centrul de presiune, ca să asigure stabilitatea de plutire a areometrului în poziție verticală. Deoarece greutatea areometrului este constantă, el nu se cufundă pînă la același nivel în orice lichid. El se cufundă într-un lichid, pînă cînd greutatea lichidului dezlocuit devine egală cu greutatea areometrului. În felul acesta se pot marca pe tija areometrului diferite diviziuni corespunzătoare nivelului pînă la care se cufundă areometrul în diferite lichide. Fiecare diviziune este notată cu densitatea lichidului corespunzător, care poate fi astfel citită direct pe tijă. Asemenea areometre se numesc *densimetre*.

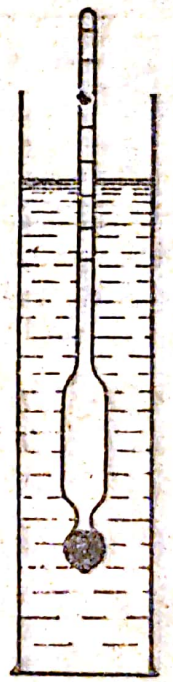

Fig. 23. — Areometrul.

Areometrele pentru lichide mai puțin dense decît apa (de ex. alcoolmetrul) au atîta lest, încît în apă distilată se cufundă pînă la partea inferioară a tijei, notînd diviziunea respectivă cu 1 (fig. 24, *A*). Dacă areometrul este introdus într-un lichid mai puțin dens decît apa (o soluție de alcool în apă), se va cufunda mai mult, pentru că este nevoie de un volum mai mare de lichid care să aibă aceeași greutate ca și areometrul. Areometrele pentru lichide mai dense decît apa (de ex. lactometrul) se cufundă în apa distilată

pînă la partea superioară a tijei, unde se află diviziunea 1 (fig. 24, *L*). Introduse în lichide mai dense decît apa, ele se cufundă cu atît mai puțin, cu cît lichidul este mai dens. În practică se folosesc areometre gradate după scări convenționale. Așa sînt areometrele Beaumé, pentru determinarea concentrațiilor soluțiilor, deoarece o soluție este cu atît mai densă, cu cît este mai concentrată. Areometrul Beaumé arată 0 în apă distilată; 66 în acid sulfuric concentrat, care are densitatea de 1,84; 48 în acid azotic concentrat, cu densitatea 1,50; 28 în soluția de acid sulfuric din acumulatoare etc.

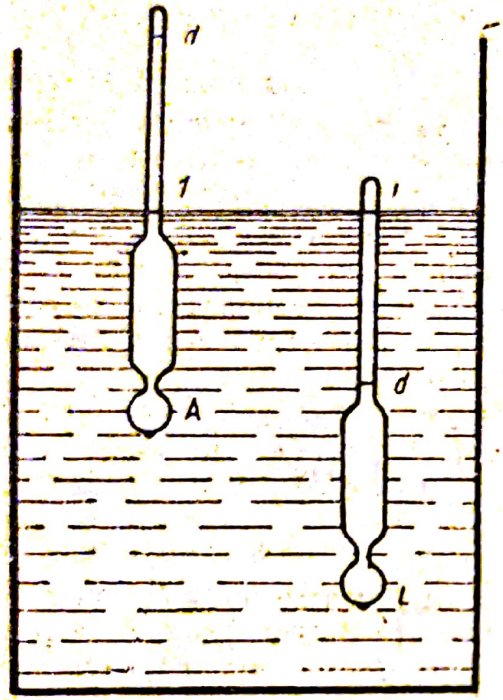

Fig. 24.—Areometre pentru lichide mai ușoare și mai grele decît apa.

Din cele învățate pînă aici constatăm că toate fenomenele descrise decurg din cîteva proprietăți fundamentale ale fluidelor. La început am studiat transmiterea presiunii în toate direcțiile la fluide. **Această transmitere în toate direcțiile a presiunii este cauzată de mobilitatea moleculelor** de fluid și lipsa de compresibilitate a lichidelor. *Apoi am studiat presiunea hidrostatică.* **Aceasta este cauzată de greutatea fluidelor.** *Presiunea hidrostatică exercitată de către un fluid asupra unui corp cufundat în acel fluid dă o rezultantă îndreptată vertical în sus, numită forța arhimedică.*

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Enunțați legea lui Arhimede și arătați cum se verifică.
2. Care este cauza forței arhimedice și în ce punct se aplică această forță?
3. Ce poziție ocupă centrul de presiune în cazul unui corp omogen cufundat complet în lichid?
4. Ce este densitatea și cum se determină ea pe baza legii lui Arhimede?
5. Arătați principiul de funcționare a unui areometru.

PROBLEME

1. Cum s-ar putea demonstra legea lui Arhimede cu ajutorul unui dinamometru?

2. O bucată de metal pur cîntărește în aer 93,6 g. Dacă în apă cîntărește 81,6 g, să se calculeze densitatea metalului și să se indice care este metalul.

Răspuns: 7,8 g/cm³; fier.

Scanned with OKEN Scanner

3. Un corp de cupru cîntărește în apă 950 g. Cît va cîntări în aer și în alcool?

Răspuns: 1 069,78 g; 974,74 g.

4. Un vapor care are secțiunea orizontală în lungul liniei de plutire de 3 500 m^2 se încarcă într-un port maritim cu 2 500 t. Cu cît se mărește adîncimea cu care este cufundat în apa de mare? Dar cînd vaporul încărcat intră într-un port fluvial?

Răspuns: 69,3 cm; 71,4 cm.

5. Un cristal de NaCl cîntărește în aer 21,5 g, iar în eter 14,3 g. Care este densitatea NaCl?

Răspuns: 2,15 g/cm^3.

6. Un corp cîntărește în aer 7,55 g, în apă 5,17 g, iar în alt lichid 6,35 g. Să se calculeze densitatea corpului și aceea a lichidului.

Răspuns: 3,172 g/cm^3; 0,504 g/cm^3.

7. Un vas plin cu apă cîntărește 825 g. Se introduce în el o bucată de cupru de 374 g, care dă afară o cantitate de apă. Cîntărind vasul din nou, se găsește 1 156,50 g. Să se calculeze densitatea cuprului.

Știind că vasul gol cîntărește 500 g și plin cu alcool cîntărește 760 g, să se calculeze densitatea alcoolului.

Răspuns: 8,8 g/cm^3; 0,8 g/cm^3.

8. O bucată de ceară de 2,88 g este legată de o bucată de cupru de 8,9 g. Ambele, cufundate în apă, cîntăresc 7,78 g. Ce densitate are ceara?

Răspuns: 0,96 g/cm^3.

9. Un corp cubic cu muchia de 1 m plutește pe apă, avînd fața inferioară la 25 cm sub apă. Punîndu-se pe fața superioară o piatră de 10 dm^3, fața de jos coboară cu încă 2 cm. Care este densitatea corpului și a pietrei?

Răspuns: 0,25 g/cm^3; 2 g/cm^3.

PRESIUNEA ATMOSFERICĂ

18. **Atmosfera și presiunea atmosferică.** Prin atmosferă se înțelege învelișul gros de aer care este reținut în jurul Pămîntului de către forța de gravitație. Porțiunea din atmosferă pînă la 12 km înălțime deasupra Pămîntului este zona în care se produc fenomenele meteorologice (vînturile, ploile etc.) și se numește *troposferă*. De la 12 pînă la 80 km se găsește *stratosfera*; în ea predomină mișcări orizontale ale aerului, care este foarte rar; de la 80 km se întinde o zonă cu aer extrem de rarefiat.

Multă vreme s-a crezut că aerul atmosferic nu are greutate. Ridicarea apei în pompele pentru apă nu era explicată prin apăsarea produsă de greutatea aerului, așa cum se explică astăzi. Pe atunci se credea că ar exista o forță specială numită „groaza de gol", se considera că apa se ridică în corpul de pompă, deoarece „groaza de gol" face ca apa să

Scanned with OKEN Scanner

ocupe golul creat sub pistonul pompei. Cînd un grădinar din Florența a observat că apa se ridică în pompe numai pînă la 10,3 m înălțime, nu s-a mai putut explica de ce apa „are groază de gol" numai pînă la această înălțime și nu mai mult. Abia cînd Torricelli a făcut cunoscuta lui experiență (1643), s-a constatat că „groaza de gol" era doar o părere greșită, izvorîtă din neștiința acelor vremuri. Ceea ce ridică apa în pompe este forța de presiune datorită greutății aerului. Și pentru că această presiune corespunde unei coloane de apă înalte de 10,3 m, se înțelege ușor de ce apa se ridică în pompele aspiratoare numai pînă la 10,3 m înălțime.

Se poate ușor dovedi că aerul are greutate, cîntărind un balon mai întîi gol și apoi umplut cu aer. Diferența dintre cele două cîntăriri dă greutatea aerului aflat în balon. Deducem ușor că, dacă aerul și în general gazele au greutate, va lua naștere și în aerul atmosferic o presiune datorită greutății fluidului, așa cum la lichide ia naștere presiunea hidrostatică. În cazul atmosferei, **presiunea datorită greutății straturilor de aer care apasă asupra celor de sub ele se numește presiune atmosferică.** Presiunea atmosferică este pentru atmosferă ceea ce presiunea hidrostatică este pentru lichide. Greutatea fiecărui strat de aer face să crească presiunea straturilor de sub el; adică presiunea crește cu adîncimea în gaz. Deoarece gazele sînt compresibile, pe măsură ce crește presiunea, scade volumul și crește densitatea. De aceea, în gaze nu mai putem considera că presiunea gazului este proporțională cu înălțimea coloanei de gaz, ca în cazul lichidelor. Mărimea presiunii atmosferice a fost determinată de învățatul E. Torricelli (elevul lui Galileo Galilei) prin experiența care-i poartă numele.

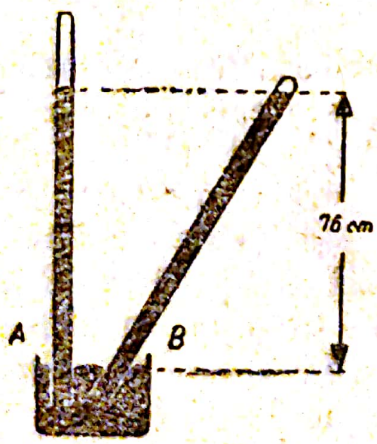

Fig. 25, *a*.—Experiența lui Torricelli.

19. **Experiența lui Torricelli.** Se umple complet cu mercur un tub de sticlă lung de 80—100 cm, închis la un capăt. Astupăm cu degetul mare deschiderea și întoarcem tubul cu gura în jos, introducîndu-l în mercurul care se află într-un vas mai larg. Luăm degetul și așezăm tubul vertical (fig. 25,*a*). Se constată că în tub mercurul coboară pînă la o înălțime a coloanei de mercur de 76 cm. Dacă se înclină tubul,

Scanned with OKEN Scanner

spațiul gol de deasupra coloanei de mercur se micșorează, dar diferența de nivel între cele 2 suprafețe libere ale mercurului din tub și din vas rămîne mereu de 76 cm.

Care este explicația acestui fenomen? Considerăm o suprafață plană și orizontală în tubul cu mercur la nivelul AB al mercurului din vas. Această suprafață suportă o presiune de sus în jos, datorită coloanei de mercur din tub, și o presiune de jos în sus, produsă de aerul atmosferic pe suprafața mercurului din vas și transmisă de mercur la suprafața considerată din tub. Prin urmare, denivelarea mercurului măsoară tocmai presiunea atmosferică și de aceea rămîne neschimbată, cînd se înclină tubul. Deci, **presiunea atmosferică este egală cu presiunea exercitată de o coloană de mercur înaltă de 760 mm la nivelul mării și la 0°C.** Această presiune este luată ca unitate de presiune și se numește *atmosferă fizică*, notată prin simbolul 1 *atm*. Un submultiplu al ei este *milimetrul coloană de mercur*, numit și *torr*. Un torr este presiunea exercitată de o coloană de mercur înaltă de 1 mm. Deci:

$$1\ atm = 760\ \text{torr}.$$

Deoarece mercurul are densitatea $\rho = 13{,}6\,\frac{g}{cm^3}$, presiunea exercitată de o coloană de Hg înaltă de 76 cm vă fi obținută cu ajutorul formulei (4):

$$1\ atm = p = h\rho g = 76 \times 13{,}6 \times 980 = 1{,}013 \times 10^6\,\frac{dyn}{cm^2} =$$

$$= 1\,033{,}6\ gf/cm^2 = 1{,}033\ at.$$

Așadar, între atmosfera fizică și cea tehnică există următoarea relație:

$$\boxed{1\ atm = 1{,}033\ at.} \qquad (9)$$

Ne putem pune întrebarea: de ce nu s-ar putea face experiența lui Torricelli cu apă în loc de mercur? Răspunsul e ușor de dat. Apa fiind de 13,6 ori mai puțin densă decît mercurul, coloana de apă care să echilibreze presiunea atmosferică ar trebui să fie de 13,6 ori mai înaltă decît coloana de mercur, adică $h_{apă} = 76 \times 13{,}6 = 1\,033{,}6\ cm = 10{,}33\ m$.

Experiența lui Torricelli se poate face și cu ajutorul unui tub îndoit în formă de U, avînd capătul mai lung

închis. Se scoate aerul din tub și se introduce mercur în el, ținîndu-l orizontal. Se întoarce apoi capătul închis în sus (fig. 25, *b*). Mercurul coboară pînă cînd diferența de nivel dintre cele două ramuri este de 76 cm. Suprafața *AB* este o suprafață de nivel, deci presiunea atmosferică este egală cu presiunea coloanei de mercur înaltă de 76 cm.

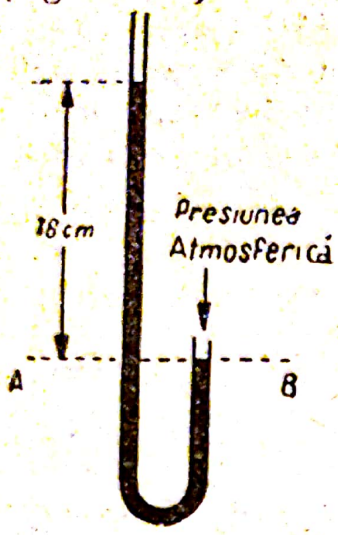

Fig. 25, *b*. — Experiența lui Torricelli cu un tub în formă de U.

20. **Barometre.** Pentru măsurarea presiunii atmosferice se folosesc aparate numite barometre. Unele barometre se bazează pe experiența lui Torricelli și se numesc *barometre cu mercur*. Există și *barometre metalice* sau *aneroide*, care se etalonează prin comparare cu indicațiile date de barometrul cu mercur.

Barometrul cu mercur constă dintr-un tub Torricelli așezat pe un suport vertical, prevăzut cu o riglă verticală, gradată în milimetri. Fundul vasului cu mercur este mobil (fig. 26,*a*) și poate fi coborît sau ridicat cu ajutorul unui șurub *S*, pentru a se aduce nivelul mercurului din vas în dreptul diviziunii zero a riglei gradate.

O formă mai simplă a barometrului cu mercur este barometrul cu sifon, care este bazat pe experiența descrisă în figura 25, *b*. Capătul mai scurt al tubului este de obicei închis, iar în peretele lui se găsește o deschidere *D*, prin care pătrunde aerul atmosferic (fig. 26,*b*). Rigla gradată are punctul zero sub nivelul inferior al mercurului. Presiunea atmosferică *H* se citește pe rigla gradată, așezată paralel cu tubul. Ea se obține făcînd diferența dintre citirile celor două niveluri, superior și inferior, ale mercurului din tub.

Foarte întrebuințate sînt barometrele metalice, care pot fi

Fig. 26, *a*. — Barometrul cu mercur.

Fig. 26, *b*. — Barometrul cu sifon.

Scanned with OKEN Scanner

și cu înregistrare continuă, așa cum se folosesc în meteorologie. Asemenea aparate înregistratoare se numesc *barografe*.

Barometrul aneroid (fără aer) are ca piesă principală o cutie metalică *A* cu pereți din tablă ondulată (membrană) (fig. 27). Cutia metalică cu membrana *1* este golită cît mai mult de aer și este fixată de corpul barometrului. Centrul membranei superioare este fixat la o tijă *2*, întinsă

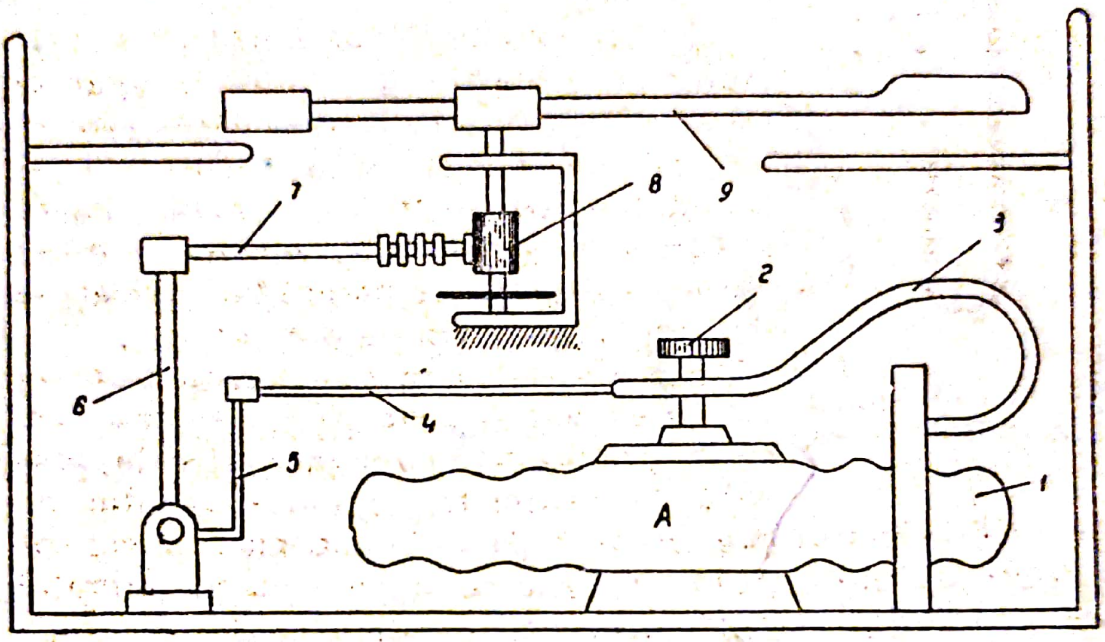

Fig. 27. — Barometru aneroid.

de o lamă elastică arcuită *3*, a cărei elasticitate echilibrează presiunea atmosferică exercitată asupra membranei cutiei. Mișcarea tijei *2* este transmisă la un ax *8*, solidar cu acul indicator *9* de un sistem de pîrghii *4*, *5*, *6*, *7*. Variațiile presiunii atmosferice deformează membrana cutiei în sus sau în jos, după cum presiunea atmosferică scade sau crește. Această deformare produce mișcarea tijei *2*. Această mișcare este transmisă și amplificată de către sistemul de pîrghii la acul indicator, care se rotește într-un sens sau altul în fața unei scale gradate în torr. Variațiile presiunii atmosferice se datoresc influențelor locale climatologice. Obișnuitele indicații: variabil, timp frumos etc. (care corespund diferitelor presiuni atmosferice la nivelul mării) de pe cadranul scalei gradate sînt inutile, deoarece nu se pot trage concluzii meteorologice numai din indicațiile barometrice locale.

21. **Altimetre.** Se știe că presiunea atmosferică scade pe măsură ce crește altitudinea, deoarece scade înălțimea coloanei de aer care produce presiunea atmosferică. Dacă

Scanned with OKEN Scanner

între două localități există o diferență de nivel Z (fig. 28), presiunile atmosferice în aceste două localități vor diferi între ele cu greutatea unei coloane de aer cu secțiunea de 1 cm², având ca înălțime tocmai diferența de altitudine Z dintre cele două localități. Dacă H_A și H_B sînt presiunile atmosferice date de barometru în cele 2 localități A și B, diferența de presiune atmosferică între ele, dată de greutatea coloanei Z de aer, va fi $h = (H_A - H_B)$ torr.

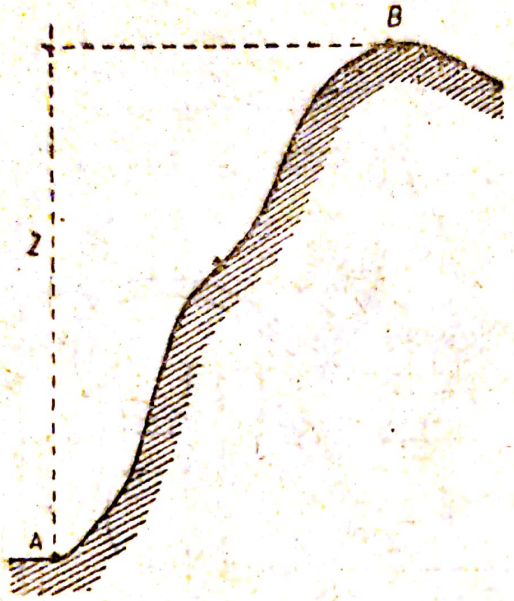

Fig. 28. — Diferență de nivel.

Presiunea scade cam cu 1 torr pentru fiecare creștere de altitudine de 10 m. Dar acest rezultat nu este cu totul exact. Gazele fiind foarte compresibile, trebuie să nu se ia aceste valori decît pentru altitudini care nu depășesc 100 m. Pentru altitudini mai mari, cum ar fi de exemplu înălțimea unui munte, înălțimea de zbor a unui avion etc., se folosesc barometre sensibile, gradate direct în altitudini, însă nu după regula dată mai sus, ci după o lege mai complicată, din cauza variației densității aerului cu înălțimea. Asemenea aparate se numesc *altimetre*.

22. **Legea lui Arhimede aplicată la gaze.** Experiență. Sub un clopot de sticlă se așază un *baroscop*, adică o mică balanță cu brațe egale, având suspendate la capete o sferă metalică A de volum V_1 și un balon B din sticlă de volum V_2 (fig. 29).

Cele două sfere, deși diferă mult una de alta ca diametru, au în aer greutăți aparente egale și își fac echilibru. Greutățile lor în vid sînt respectiv G_1 și G_2. Cînd aerul este scos de sub clopot prin C (fig. 29), baroscopul se dezechilibrează, iar sfera de sticlă coboară. Care este cauza? În aer, cele două sfere sînt împinse de jos în sus de forțele arhimedice, care sînt egale cu greutatea volumului de aer dezlocuit de fiecare sferă. Atunci cînd ele sînt în aer, din greutatea adevărată G_2 a sferei de sticlă se scade o forță arhimedică $\rho V_2 g$ mai

mare decît $\rho V_1 g$ pentru sfera metalică. Deoarece ele au aceeași greutate aparentă, se poate scrie:

$$G_1 - \rho V_1 g = G_2 - \rho V_2 g,$$

ρ fiind densitatea aerului. Se mai poate scrie:

$$G_2 - G_1 = \rho g(V_2 - V_1).$$

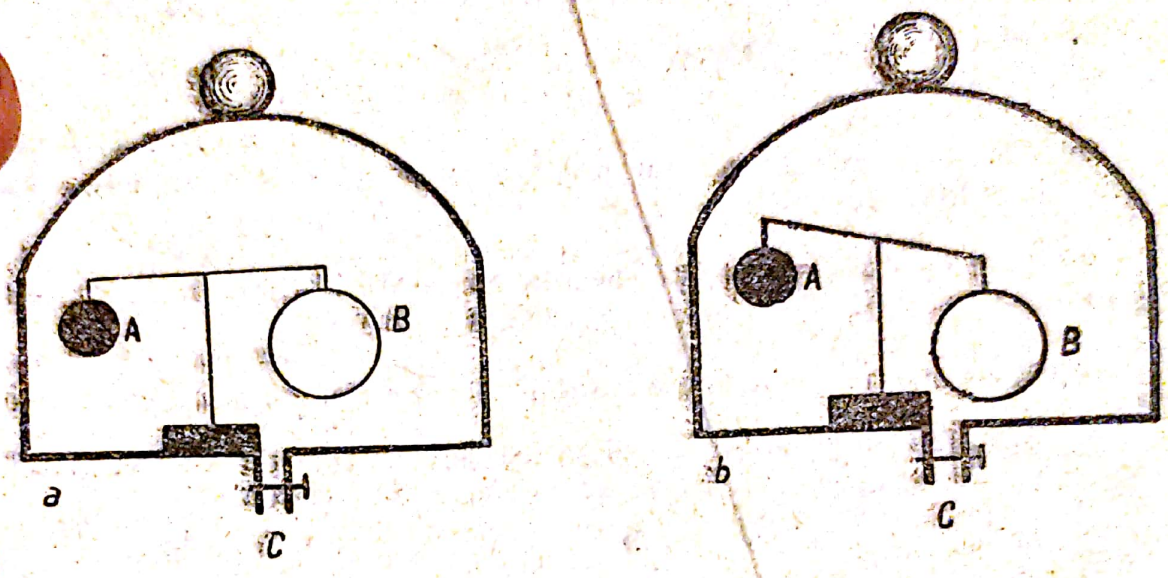

Fig. 29. — Baroscop.

Deoarece $V_2 > V_1$, urmează că $G_2 > G_1$. Înseamnă că sfera de sticlă are o greutate adevărată mai mare decît sfera metalică și din această cauză în vid se va lăsa în jos. Această experiență dovedește că legea lui Arhimede este valabilă și pentru gaze.

Un corp aflat într-un gaz este împins de jos în sus cu o forță egală cu greutatea volumului de gaz dezlocuit.

La cîntărirea foarte exactă trebuie să se țină seamă de împingerea de jos în sus de către aer a corpului de cîntărit (legea lui Arhimede). Eroarea făcută la cîntărire este cu atît mai mare, cu cît este mai mare deosebirea dintre volumul corpului de cîntărit și volumul greutăților marcate.

Tot pe această lege se bazează funcționarea *baloanelor*. Ele se ridică în sus datorită faptului că greutatea lor G este mai mică decît forța arhimedică F. Diferența dintre ele se numește *forță ascensională* și este egală cu

$$F_a = F - G.$$

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este presiunea atmosferică?
2. Descrieți experiența lui Torricelli și explicați desfășurarea ei.
3. Ce sînt barometrele și cum funcționează?
4. De ce se poate măsura altitudinea cu ajutorul barometrului?
5. Explicați funcționarea baroscopului în cazul cînd este echilibrat în vid.

PROBLEME

1. Presiunea atmosferică este de 740 torr. Care este adîncimea unui iaz, dacă presiunea pe fundul lui este de 900 torr?

Răspuns: 2,176 m.

2. Ce presiune suportă un pește care se află la o adîncime de 80 m sub nivelul mării?

Răspuns: 8 at.

3. La intrarea într-o mină barometrul arată 752,5 torr. În fundul minei el arată 762 torr. Cît de adîncă este mina?

Răspuns: 99,3 m.

4. Manometrul legat la o conductă care alimentează cu apă o clădire arată 2 at.

Să se afle dacă apa se ridică la robinetul de la etajul IV, știind că acest robinet este instalat la 21 m deasupra conductei.

Suprafața deschiderii robinetului instalat la etajul II la 14 m deasupra conductei are 5 cm^2. Ce forță exercită apa pe un dop care oprește curgerea apei?

Răspuns: Nu; 3 kgf.

5. Aerul comprimat într-un recipient are 5 at. Dopul care închide un orificiu circular al recipientului are diametrul de 2 cm și este menținut cu o forță de 12,04 kgf. Care este presiunea atmosferică?

Răspuns: 858,44 torr.

6. Ce forță ascensională are un aerostat care conține 1 500 m^3 de hidrogen, dacă învelișul, nacela și toate aparatele cîntăresc 815 kg?

Răspuns: 989,5 kgf.

LEGEA BOYLE ȘI MARIOTTE

23. **Gaze rarefiate și gaze comprimate.** Dacă se introduce un gaz într-un vas închis, de exemplu, într-un cilindru cu piston (fig. 30, *a*) gazul umple tot vasul. Dacă cilindrul ar fi deschis (fără piston), gazul s-ar răspîndi în afară și nu ar prezenta o suprafață liberă.

Am numit expansibilitate proprietatea gazelor de a se răspîndi în întregul volum închis care le stă la dispoziție. Considerînd că pistonul are greutatea neglijabilă, el va lua o asemenea poziție, încît presiunea exercitată de gaz asupra

Scanned with OKEN Scanner

lui să compenseze presiunea atmosferică exercitată pe partea lui superioară. Așezînd o greutate pe piston (fig. 30, *b*), volumul gazului scade, pînă cînd presiunea lui crește suficient ca să echilibreze presiunea atmosferică plus presiunea rezultată din apăsarea greutății puse pe piston. Prin urmare, presiunea unui gaz crește cînd volumul lui scade. În tot acest timp, temperatura trebuie să rămînă constantă. Adăugînd încă o greutate pe piston (fig. 30, *c*), acesta coboară și mai mult, confirmînd concluzia de mai sus. În prima poziție, gazul are presiunea egală cu presiunea atmosferică. În a doua și a treia poziție, presiunea gazului este mai mare decît presiunea atmosferică.

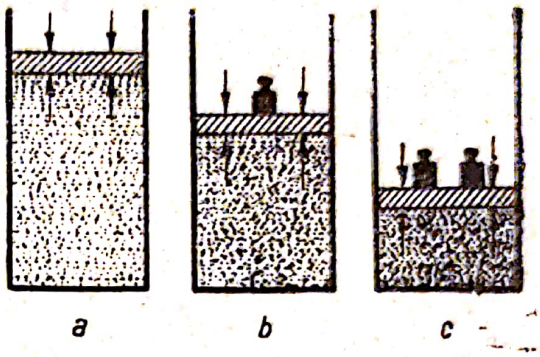

Fig. 30. — Comprimarea aerului.

Un gaz se numește comprimat dacă se găsește într-un vas închis și este supus la o presiune mai mare decît presiunea atmosferică. Dacă am presupune că pistonul ar fi ridicat mai sus decît în figura 30, *a*, volumul ocupat de gaz ar crește, iar presiunea lui ar deveni mai mică decît presiunea atmosferică. Se numește *rarefiat un gaz care se găsește într-un vas închis și este supus la o presiune mai mică decît presiunea atmosferică.*

24. **Legea Boyle și Mariotte.** Ne propunem să aflăm cum variază volumul unei mase de gaz închis într-un vas, atunci cînd variază presiunea sa, temperatura rămînînd constantă.

Experiență. Se folosește un tub îndoit în formă de U, ramura mai scurtă fiind prevăzută cu un robinet *R* (fig. 31). Robinetul fiind deschis, se toarnă mercur în tub pînă se închide comunicația între cele 2 ramuri. Închizînd robinetul *R*, se închide o masă de aer în ramura scurtă. Așezăm rigla gradată în milimetri, așa ca gradația 0 să vină în dreptul nivelului mercurului. Să admitem că coloana de aer închisă are lungimea de V_1 mm. Această lungime este proporțională cu volumul masei de gaz închis în ramura scurtă și o luăm ca unitate de volum a gazului. Deci masa de gaz închisă are presiunea atmosferică $p_1 = 760$ torr și volumul $V_1 = 1$ unitate. Turnînd acum cu grijă mercur în ramura lungă, se constată că mercurul nu se mai ridică pînă la același nivel în ambele ramuri. Să presupunem că diferența de nivel a mercurului în cele două ramuri a

devenit 380 mm (fig. 31, *b*). Citim pe rigla gradată volumul masei de gaz și constatăm că s-a redus la două treimi din valoarea inițială $V_2 = \frac{2}{3} V_1$. Presiunea masei de gaz închisă a crescut. Ca să-i aflăm valoarea, scriem egalitatea presiunilor la nivelul AB, adică presiunea p_2 din ramura scurtă

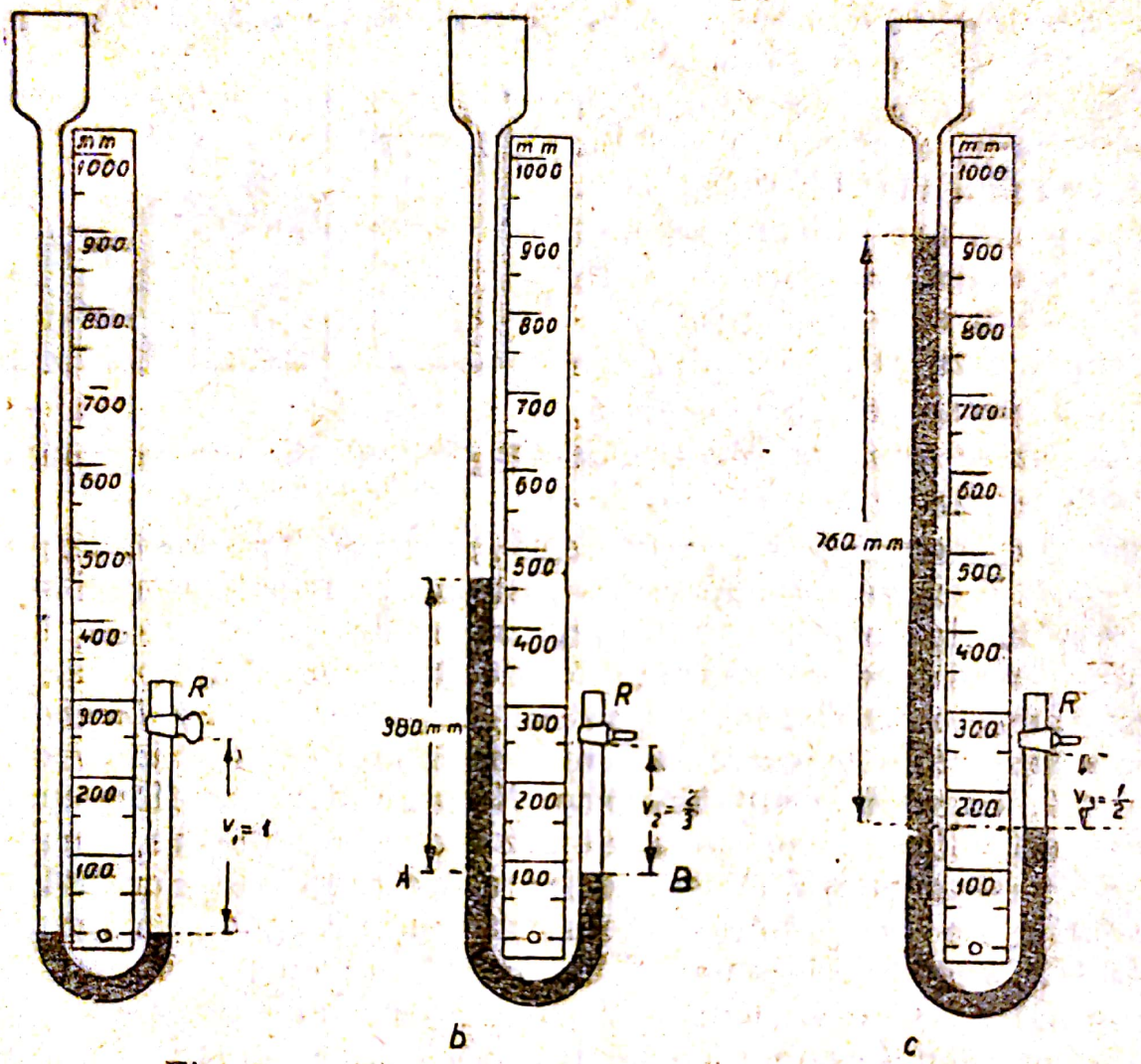

Fig. 31. — Verificarea legii Boyle și Mariotte.

va fi: $p_2 = p_1 + 380 = p_1 + \frac{p_1}{2} = \frac{3}{2} p_1$. Cu alte cuvinte, dacă presiunea a devenit de 1,5 ori mai mare, volumul a devenit de 1,5 ori mai mic decît valoarea inițială.

Se mai toarnă mercur pînă cînd diferența de nivel a mercurului în cele 2 ramuri devine de exemplu 760 mm (fig. 31, *c*), adică pînă cînd presiunea masei de gaz închis în ramura scurtă devine de 2 ori mai mare decît la început $p_3 = 2p_1$. Se constată că volumul masei de gaz a devenit de 2 ori mai mic decît valoarea inițială $V_3 = \frac{V_1}{2}$.

Scanned with OKEN Scanner

Concluzia acestei experiențe este ușor de tras și constituie legea numită Boyle și Mariotte, după numele celor doi fizicieni care au descoperit-o independent unul de altul, primul în 1662, al doilea în 1676.

Volumul și presiunea unei mase de gaz variază invers proporțional, dacă temperatura sa rămîne constantă.

Notînd cu p_1 și V_1 presiunea și volumul măsei de gaz în prima stare, cu p_2 și V_2 presiunea și volumul aceleiași mase de gaz în starea a doua etc., legea Boyle și Mariotte se poate exprima prin formula:

$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3 = \text{constant}$$

sau în general:

$$\boxed{pV = \text{constant.}} \qquad (10)$$

Legea Boyle și Mariotte poate fi reprezentată grafic pe hîrtie milimetrică luînd presiunea pe ordonată și volumul pe abscisă (fig. 32). Curba figurativă a acestei legi, adică diagrama ei, este o curbă care se numește *hiperbolă echilateră*. Mai tîrziu se va vedea cum se trasează o asemenea curbă, cu ajutorul datelor obținute experimental.

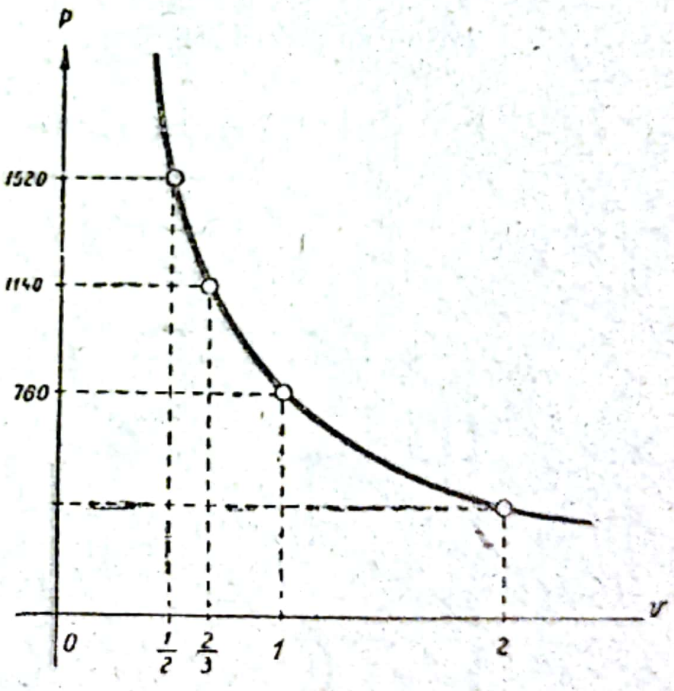

Fig. 32. — Graficul legii Boyle și Mariotte.

25. **Manometre.** Presiunea gazelor comprimate sau rarefiate se măsoară cu ajutorul unor aparate numite *manometre*. Deoarece în tehnică și în laboratoarele de fizică se folosesc presiuni foarte variate, de la cele mai mari, cam de 40 000 at, pînă la cele mai reduse, cam de 10^{-10} torr, există multe tipuri de manometre, după mărimea presiunii care trebuie măsurată. Unele manometre sînt cu lichid, altele sînt metalice, iar altele au construcții speciale.

26. **Manometre cu lichid.** Cele mai simple manometre sînt manometrele cu lichid, în special cu mercur.

Scanned with OKEN Scanner

a. Manometrul deschis este un tub în formă de U, în care se găsește mercur sau alt lichid. Tubul este în legătură cu recipientul R, în care se găsește gazul a cărui presiune trebuie măsurată (fig. 33). Presiunea gazului se măsoară prin denivelarea h produsă între suprafețele libere ale lichidului manometric din cele două ramuri ale tubului. Suprafața liberă AB a lichidului este apăsată în ramura A de presiunea p de măsurat, iar în ramura B de presiunea coloanei de lichid h și presiunea atmosferică p_0, încît se poate scrie:

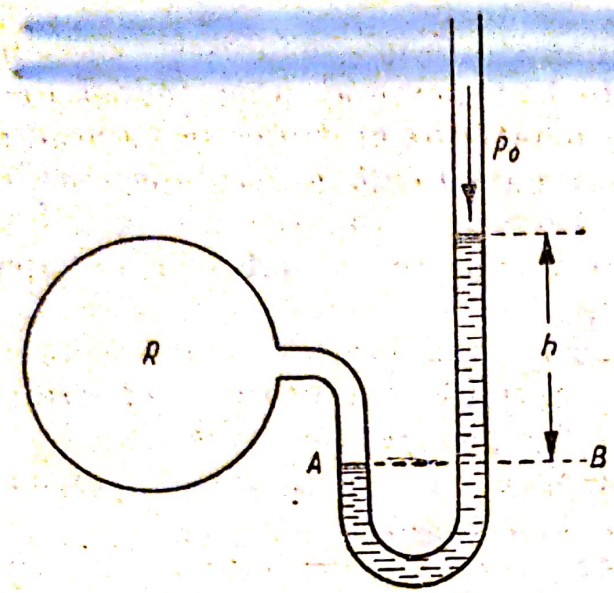

Fig. 33. — Măsurarea presiunii cu ajutorul manometrului deschis.

$$\boxed{p = p_0 + \rho g h.} \quad (11)$$

Dacă se exprimă presiunea în coloană de mercur și dacă lichidul manometric este chiar mercur, atunci:

$$\boxed{p = p_0 + h.} \quad (12)$$

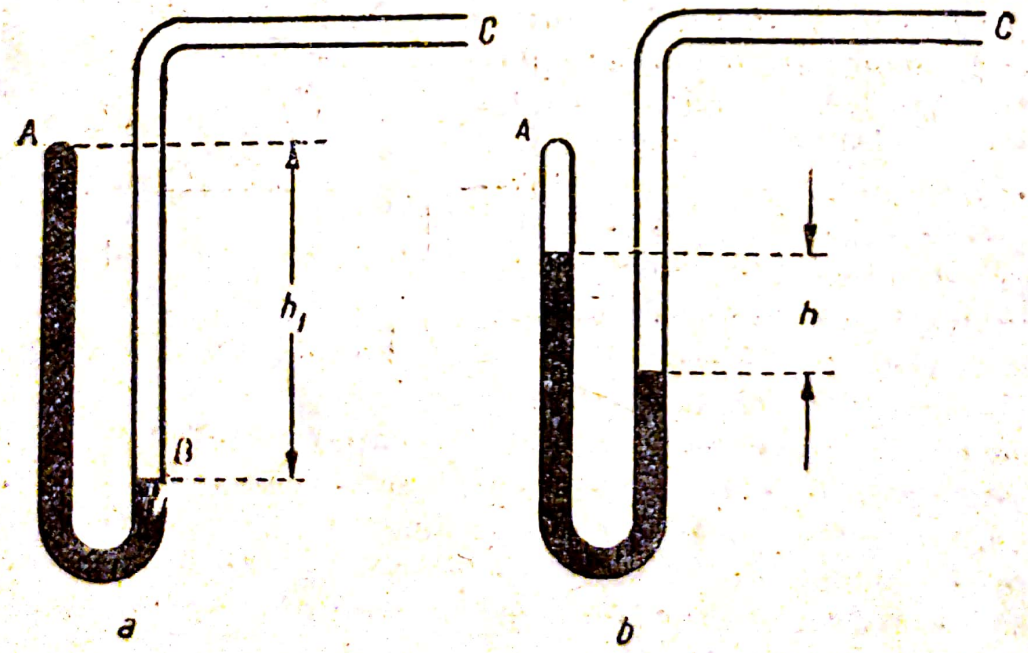

Fig. 34. — Manometru închis pentru presiuni mai mici.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul cînd presiunea din recipientul R este mai joasă decît presiunea atmosferică, denivelarea h se produce în sens opus și presiunea de măsurat se exprimă prin relația:

$$p = p_0 - h. \qquad (13)$$

Cînd variațiile de presiune sînt mici, se folosește ca lichid apa, deoarece, ca fiind de 13,6 ori mai puțin densă decît mercurul, pentru aceeași variație de presiune se va produce o denivelare de 13,6 ori mai mare decît în cazul mercurului.

b. Manometrul închis pentru presiuni între 1 și 100 torr este un tub în formă de U, închis la un capăt, A, umplut cu mercur (fig. 34, *a*). Capătul deschis C se leagă la recipientul de lucru. Cînd presiunea din recipient coboară sub valoarea h_1, nivelul mercurului din ramura închisă coboară pînă cînd coloana de mercur h (fig. 34, *b*) echilibrează presiunea gazului din recipient. Coloana h reprezintă tocmai presiunea p de măsurat.

27. **Manometre metalice.** În tehnică se folosesc de obicei manometre metalice, care permit măsurarea unor presiuni mult mai înalte decît cele care pot fi măsurate cu ajutorul manometrelor cu lichid. Aceste manometre se bazează pe deformarea elastică a unor membrane sau a unor tuburi curbate.

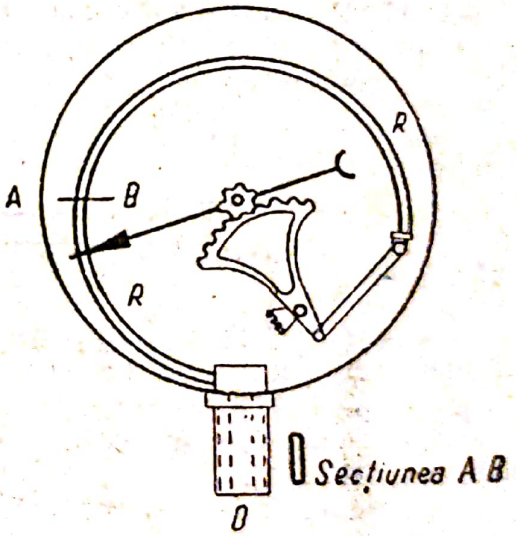

Fig. 35. — Manometru Bourdon.

Deformarea produsă este amplificată de un sistem de pîrghii și transmisă unui ac indicator, care se poate deplasa în fața unui cadran gradat. Principiul de construcție al manometrului cu membrană este același ca la barometrul cu membrană (§ 20). Cel mai utilizat este manometrul Bourdon (fig. 35). Partea lui esențială este un tub metalic cu secțiune ovală îndoit în arc. Un capăt al tubului este închis, iar celălalt este în legătură cu recipientul care conține gazul a cărui presiune trebuie măsurată. Sub acțiunea unei presiuni mai mari decît presiunea atmosferică, tubul tinde să se îndrepte, iar deplasarea capătului închis este transmisă la acul indicator.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege în fizică prin atmosferă?
2. Comparați lichidele și gazele din punct de vedere hidro- și aerostatic.
3. Ce se înțelege prin gaz comprimat și gaz rarefiat? Dar prin vid?
4. Cum se enunță și cum se verifică legea Boyle și Mariotte?
5. Cum funcționează manometrele cu lichid?
6. Arătați cum funcționează manometrul metalic.

PROBLEME

1. Un volum de 20 l de gaz sub presiunea de o atmosferă trebuie introdus într-un vas de 8 l. Ce presiune va avea gazul?

Răspuns: 2,5 at.

2. Ce presiune are gazul dintr-un recipient dacă un manometru deschis arată o denivelare de subpresiune de 400 mm coloană de apă, iar presiunea atmosferică este de 740 torr?

Răspuns: 710,59 torr.

3. Un tub barometric cu secțiunea de 1 cm^2 conține o coloană de Hg de 76 cm, iar camera barometrică are 10 cm lungime. Ce volum de aer la 760 torr ar trebui introdus în camera barometrică, pentru ca nivelul coloanei de Hg să coboare la 50 cm?

Răspuns: 12,31 cm^3.

4. O minge de fotbal se umflă cu o pompă de bicicletă pînă cînd presiunea în interior ajunge la 1,8 at. De cîte ori se va apăsa pe pistonul pompei, dacă la fiecare apăsare se introduc în minge 200 cm^3 de aer din exterior, iar volumul final al mingii este de 2,8 l? (La început mingea era complet goală.)

Răspuns: $\approx$ 25 de ori.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 1

Determinarea densității cu balanța hidrostatică

Am văzut (§ 16) principiul pe baza căruia se poate determina densitatea unui corp cu ajutorul legii lui Arhimede. Procedîndu-se după modul descris acolo, să se execute următoarele teme:

a) Să se determine densitatea unei bucăți de metal sau a altui corp solid.

b) Să se determine densitatea petrolului.

c) Să se determine densitatea unui bulgăre de sare de bucătărie.

În lipsa unei balanțe hidrostatice, se va lucra cu o balanță obișnuită, ca în figura 18. Corpul se va suspenda cu sîrmă foarte subțire, spre a evita îngreuierea firului prin îmbibare cu apă. Masa firului de suspensie se va neglija față de masa corpului de studiat.

Se va observa ca pe suprafața corpului cufundat în lichid să nu rămînă bule de aer și ca el să nu atingă pereții vasului în care este cufundat. La introducerea corpului dintr-un lichid într-altul, el trebuie să fie mai întîi bine șters și apoi uscat. Nu se va ține seama de variația densității cu temperatura, deoarece este neglijabilă față de precizia cu care lucrăm noi.

Scanned with OKEN Scanner

Reamintim că valoarea cea mai apropiată de valoarea reală a unei mărimi măsurate este media aritmetică a valorilor găsite prin mai multe măsurători. De aceea, la fiecare din cele trei teme, se vor face mai multe măsurători și se va lua media rezultatelor.

Tema 1. Se procedează ca la punctul *a* din § 16. Rezultatele măsurătorilor nu se vor scrie la întîmplare, ci, pe măsura obținerii lor, se vor scrie în tabelul de rezultate, întocmită de la începutul lucrării. Fiecare rezultat va fi trecut în tabel imediat după obținerea lui, nu la sfîrșitul lucrării:

Substanță	m	m_1	$\rho = \frac{m}{m_1}\rho_0$	Media

Tema 2. Se procedează ca la punctul *b* din § 16. Rezultatele se vor trece în tabelul următor:

Substanță	m_1	m_2	$\rho = \frac{m_2}{m_1}\rho_0$	Media

Tema 3. Sarea de bucătărie fiind solubilă în apă, se determină mai întîi densitatea ei ρ_2 față de petrol, apoi se determină densitatea petrolului ρ_1 față de apă și la urmă se calculează densitatea ρ a bulgărului de NaCl față de apă.

Bulgărele de sare se suspendă de un taler al balanței și se cîntărește în aer (fig. 21, *a*); fie m masa lui. Se cufundă apoi bulgărele de sare sub petrol (fig. 21, *b*) și se echilibrează balanța cu masa m_1 pusă pe talerul de care-i suspendat corpul.

Masa m_1 reprezintă masa volumului V de petrol dezlocuit de bulgărele de sare:

$$m_1 = V\rho_1,$$

în care ρ_1 este densitatea petrolului.

Densitatea corpului va fi deci:

$$\rho = \frac{m}{m_1}\rho_1.$$

Pentru determinarea densității petrolului ρ_1 se echilibrează în aer un plutitor de volum V_1. Se cufundă apoi plutitorul sub petrol și se echilibrează cu masa m_2 pusă pe talerul de care e suspendat plutitorul. Masa m_2 reprezintă masa volumului de petrol V_1 dezlocuit de plutitor: $m_2 = V_1\rho_1$. Densitatea petrolului va fi: $\rho_1 = \frac{m_2}{V_1}$.

Scanned with OKEN Scanner

Se repetă aceeași operație în apă distilată. Masa m_3 necesară pentru echilibrarea plutitorului sub apa distilată reprezintă masa volumului V_1 de apă dezlocuit de plutitor:

$$m_3 = V_1 \rho_0.$$

Densitatea ρ_1 a petrolului va fi atunci:

$$\rho_1 = \frac{m_2}{V_1} = \frac{m_2}{m_3} \rho_0.$$

Atunci densitatea sării de bucătărie va fi:

$$\rho = \frac{m}{m_1} \cdot \frac{m_2}{m_3} \cdot \rho_0 \text{ g/cm}^3.$$

Deoarece $\rho_0 = 1$ g/cm^3, $\rho = \frac{m}{m_1} \cdot \frac{m_2}{m_3}$.

Rezultatele se trec în tabelul de mai jos:

Substanța	m	m_1	m_2	m_3	$\rho = \frac{m}{m_1} \cdot \frac{m_2}{m_3}$	Media

Determinarea concentrației unei soluții cu areometrul

Se va determina concentrația unei soluții de NaCl sau NH_4Cl sau H_2SO_4, folosind un areometru pentru lichidele mai dense decît apa. Pentru aceasta se determină densitatea soluției cu un areometru, la temperatura de 15°C. Folosind apoi tabelul de corespondență dintre densitatea soluției și concentrația ei la sută, dat mai jos, se va găsi concentrația soluției date.

Beaumé	NH_4Cl	NaCl	H_2SO_4	Concentrația %
0°	0,9986	0,9986	0,9986	0
5°	1,0142	1,0345	1,0323	5
10°	1,0289	1,0711	1,0669	10
13°	1,0430	1,1090	1,1030	15
19°	1,0571	1,1485	1,1406	20
22°	1,0710	1,1897	1,1796	25
25°	—	—	1,2199	30
31°	—	—	1,2614	35
33°	—	—	1,3043	40

Scanned with OKEN Scanner

HIDRO- ȘI AERODINAMICA

CURGEREA FLUIDELOR

28. **Generalități.** Se știe că lichidele și gazele datorită faptului că moleculele lor sînt mobile unele față de altele pot să curgă dacă există o diferență de nivel, respectiv o diferență de presiune. Această mișcare a lichidelor se deosebește însă de mișcările pe care le-am studiat la solide. Pe cînd toate părticelele care alcătuiesc un solid participă la aceeași mișcare de translație sau rotație, fără să se miște unele față de altele, lichidele, ca și gazele au o mișcare mult mai complicată. Părticelele care alcătuiesc un lichid sau un gaz se pot mișca unele față de altele. Diferitele straturi ale aceluiași fluid pot avea mișcări deosebite. Studiul mișcării lichidelor sau al gazelor se numește *hidrodinamică*, respectiv *aerodinamică*, sau, în general, *dinamica fluidelor*. Nu toate lichidele curg la fel de ușor. Cînd se scoate din apă o linguriță, se constată că este udată de un strat de apă, care se scurge în picături pînă rămîne numai un strat foarte subțire de apă. Introducînd linguriță în glicerină sau ulei, fenomenul este asemănător, însă lichidul se scurge mai greu, iar stratul rămas lipit de linguriță este mai gros. Introdusă în miere, linguriță ridică un strat foarte gros de miere, care se scurge încet. Prin urmare, lichidele sînt cu atît mai fluide cu cît moleculele lor pot aluneca mai ușor unele față de altele. Pe măsură ce fluiditatea unui lichid scade, crește *viscozitatea* lichidului. Mierea este mai vîscoasă decît uleiul; acesta este mai vîscos decît apa. Viscozitatea unui lichid provine din frecarea care se naște în interiorul lichidului între straturile care se deplasează unele față de altele. Chiar și gazele au o mică viscozitate, cum vom vedea mai tîrziu. Viscozitatea este deci o rezistență la curgerea unui fluid. Pentru a simplifica studiul lichidelor, se consideră un lichid ideal, care ar fi perfect mobil, adică ar avea viscozitatea nulă. **Un lichid fără viscozitate se numește lichid perfect.**

Deoarece lichidele sînt practic incompresibile, pe cînd gazele sînt foarte compresibile, există deosebiri între felul cum se mișcă unele și celelalte. Experiența a arătat însă că, dacă gazele au viteze mici față de viteza cu care se propagă sunetul în ele, adică au viteze de 10—100 m/s, — numite viteze subsonice — atunci ele pot fi considerate de asemenea practic incompresibile față de mișcarea corpurilor deoarece nu se comprimă, ci se deplasează din fața corpului

Scanned with OKEN Scanner

care se mișcă în ele. La viteze mai mari compresibilitatea gazelor influențează mult mișcarea lor. Noi vom studia aici numai curgerea lichidelor a căror viscozitate este destul de mică pentru a nu ține seama de ea și a gazelor cu viteze nu prea mari, încît mișcările lor vor fi mai simple și vor fi asemănătoare și pentru unele și pentru altele. Prin urmare, vom studia la început *curgerea lichidelor perfecte*, adică fără viscozitate, și a gazelor cu viteze reduse, pentru a găsi legile generale ale mișcării lor. Mișcarea lichidelor și a gazelor poate fi datorită mai multor cauze: diferența de presiune, diferența de nivel, diferența de densitate între diferitele puncte ale lor etc.

29. **Curgerea staționară a fluidelor.** Mișcarea diferitelor părticele de lichid poate fi făcută vizibilă cu apă colorată sau lăsînd să plutească pe apă pulberi foarte fine, ca praful de licopodiu, pulberea de aluminiu etc. *Traiectoria unei particule de fluid se numește* **linie de curent.** *Un fascicul de linii de curent formează un* **tub de curent.** Liniile de curent în gaze se pot face vizibile cu ajutorul fumului, cu fișii foarte subțiri de hîrtie, cu fire de ață etc.

Experiență. Pentru a observa o linie de curent se poate proceda în modul următor. Într-un vas mare V (fig. 36) se introduce un tub îngust T din sticlă, îndoit ca în figură și îngustat foarte mult la capătul de jos. Acest capăt pătrunde în centrul unui orificiu lateral făcut în peretele vasului V, care se continuă printr-o conductă orizontală C. La capăt conducta are un robinet R. În vasul V se pune apă și se menține constant nivelul ei NS. Prin tubul T se toarnă apă colo-

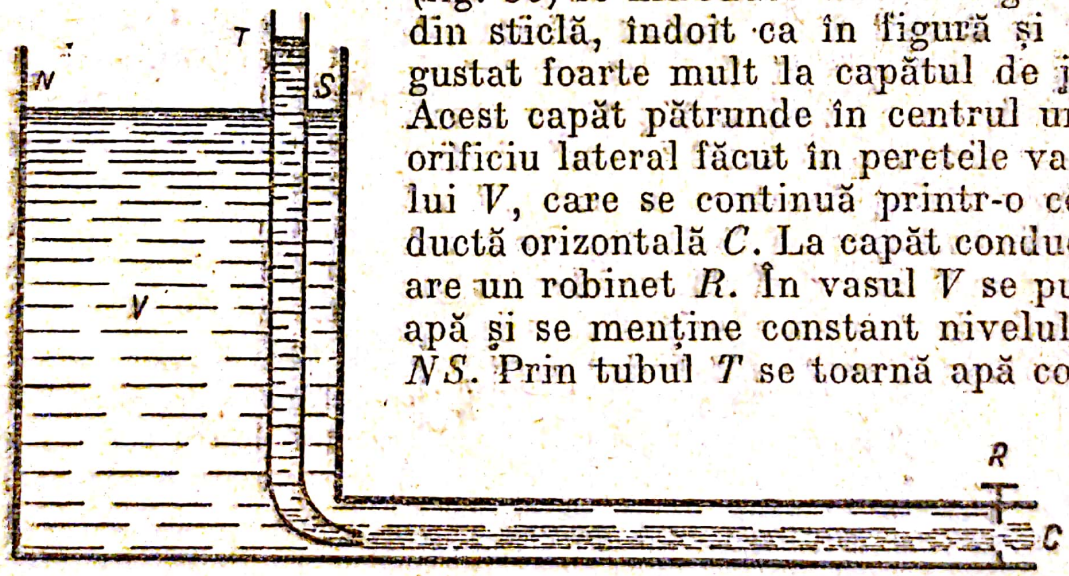

Fig. 36. — Linii de curent.

rată. Cît timp deschiderea robinetului R este mică, viteza de curgere a apei prin tubul orizontal este mică. Firul subțire de apă colorată care iese din T este o linie de curent care curge prin centrul conductei C.

Scanned with OKEN Scanner

Imaginea dată de liniile de curent formează un *spectru hidrodinamic* sau *aerodinamic*. Cînd spectrul liniilor de curent nu-și schimbă aspectul în cursul timpului, mișcarea se numește *staționară* sau *în regim permanent*.

Se numește **debit** a unui curent de fluid **cantitatea Q de fluid care trece într-o secundă printr-o secțiune.** Într-o curgere staționară, debitul trebuie să fie constant în orice secțiune a conductei, deoarece în fiecare secundă trebuie să iasă pe la capătul conductei o cantitate de fluid egală cu cea care intră pe la celălalt capăt. Dacă într-o conductă considerăm două secțiuni de arii neegale $S_1 > S_2$ (fig. 37), debitul în secțiunea S_1 va fi de $Q_1 = S_1 v_1 \rho$, iar în secțiunea S_2 va fi $Q_2 = S_2 v_2 \rho$, unde ρ este densitatea fluidului, v_1 viteza prin secțiunea S_1 și v_2 viteza prin secțiunea S_2, iar produsul dintre secțiune și viteză reprezintă volumul de fluid care trece într-o secundă prin secțiunea corespunzătoare. Curgerea fiind staționară, $Q_1 = Q_2$, adică:

$$\boxed{S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{const.}} \qquad (14)$$

Relația (14) ne arată că, **în regim staționar sau permanent, debitul este același în toate secțiunile unui tub de curent, iar viteza curentului este invers proporțională cu aria secțiunii corespunzătoare.** Prin urmare, la un același tub de curent, la secțiuni mari, fluidul are viteze mici, iar la secțiuni mici are viteze mari.

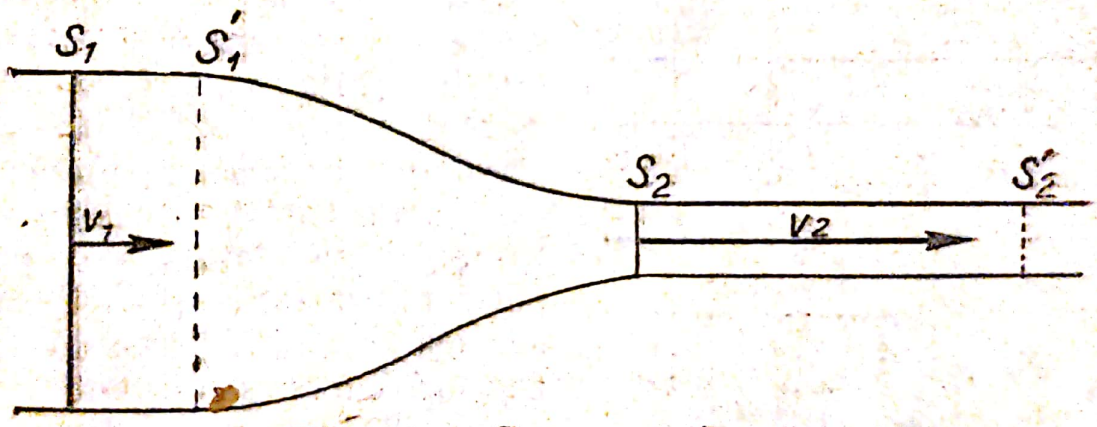

Fig. 37. — Curgere staționară.

Experiența arată că, la o lărgire a conductei, liniile de curent se răresc, iar la o strîmtare a conductei, liniile de curent se înghesuie. Deducem că într-un spectru hidro- sau aerodinamic, în locurile în care liniile de curent sînt dese, viteza fluidului este mai mare decît în locurile în care liniile de curent sînt rare.

Scanned with OKEN Scanner

lucru mecanic este egal cu energia cinetică a masei de fluid $m = Sl\rho$ deplasată, în care ρ este densitatea fluidului.

Se poate deci scrie:

$$\frac{mv^2}{2} = p_d \cdot Sl$$

de unde se poate scoate valoarea presiunii dinamice:

$$p_d = \frac{mv^2}{2\,Sl} = \frac{Sl\rho v^2}{2\,Sl} = \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

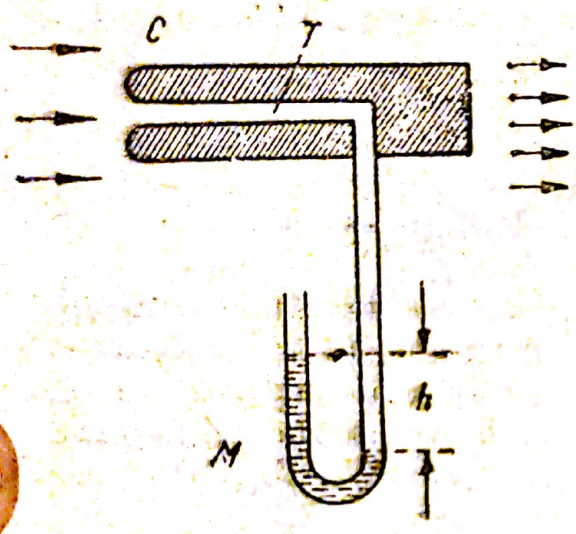

Fig. 41. — Tub Pitot.

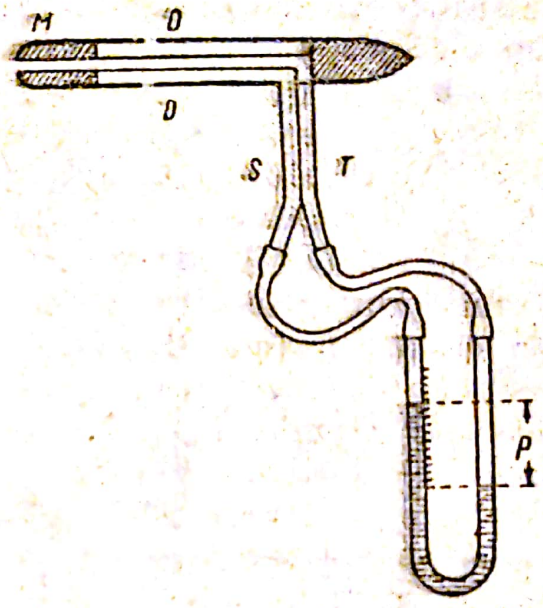

Fig. 42. — Tub Prandtl.

Așadar, presiunea dinamică este egală cu energia cinetică a unității de volum:

$$\boxed{p_d = \rho \cdot \frac{v^2}{2}} \qquad (16)$$

31. **Legea Bernoulli.** La curgerea staționară a unui *fluid perfect* printr-o conductă orizontală există o relație simplă între presiunea statică și cea dinamică din fiecare secțiune a conductei, relație stabilită de Bernoulli, ținînd seama de legea conservării energiei (se neglijează frecările interioare). Din relația (15) se deduce:

$$p_0 = p_s + p_d.$$

Scanned with OKEN Scanner

Înlocuim aici presiunea dinamică prin expresia sa din (16) și obținem legea Bernoulli pentru conducte orizontale:

$$\boxed{p_s + \rho \frac{v^2}{2} = p_0 = \text{const.}} \qquad (17)$$

Această lege se poate enunța în modul următor:

Suma dintre presiunea statică și cea dinamică a unui lichid perfect care curge staționar printr-o conductă orizontală este constantă în orice secțiune a tubului.

În cazul cînd conducta orizontală prezintă secțiuni variabile, valoarea presiunii totale p_d va fi aceeași pentru orice secțiune.

$$\boxed{p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} = \text{const.}} \qquad (18)$$

Folosind relația dintre presiunea dinamică p_d și viteza fluidului (16), se poate deduce viteza unui fluid, măsurînd presiunea dinamică. Metoda aceasta este folosită în aviație pentru a determina viteza de zbor a avionului cu ajutorul unui tub Prandtl (fig. 42), așezat în fața aripii. Pe baza relației de mai sus (16), denivelarea lichidului este notată pe tub direct în unități de viteză.

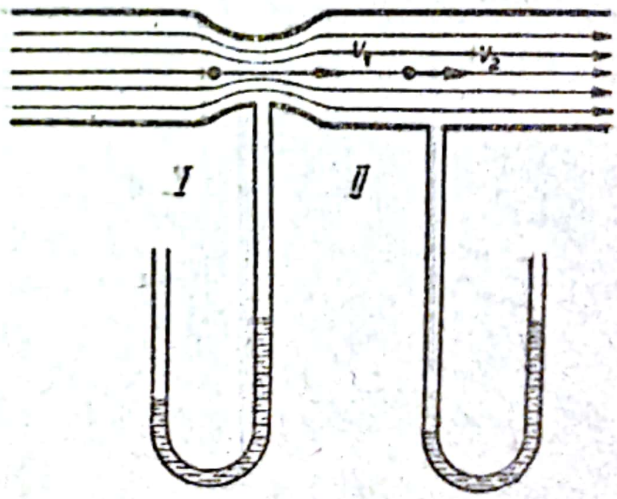

Fig. 43. — Curgerea printr-un tub cu gîtuitură.

32. **Relația dintre presiunea statică și viteza curentului de fluid.** Să cercetăm modul cum variază cele două presiuni — statică și dinamică — de-a lungul unui tub prin care curge un fluid perfect în regim permanent. Fie un tub care prezintă o gîtuitură și două sonde de presiune pentru măsurarea presiunii statice (fig. 43). Prin tub se suflă un curent de aer. Ne-am aștepta ca acest curent de fluid să apese asupra pereților mai mult la gîtuitură decît în părțile largi ale lui. Manometrele *I* și *II* arată că presiunea statică în *I* este mai mică decît în *II*. Explicația este ușor de dat cu

$\rho = \frac{m}{V}$ $\quad m = \rho V = \rho S d$

ajutorul *legii lui Bernoulli*. Din (14) se știe că la gîtuitură viteza fluidului v_1 este mai mare decît viteza fluidului v_2 în partea largă. Prin urmare, în secțiunea mai mică fluidul va avea o presiune dinamică mai mare decît în secțiunea mare. Pe baza legii lui Bernoulli (18), presiunea statică în *I* va fi mai mică decît în *II*. Cînd viteza fluidului este suficient de mare, presiunea statică în *I* poate să devină mai mică decît presiunea atmosferică și să se producă o acțiune absorbantă dinafară spre interiorul tubului. În concluzie, *de-a lungul unei conducte cu diferite secțiuni prin care curge un fluid, presiunea asupra pereților este mai mică în locurile cu secțiunea mai mică și mai mare în locurile cu secțiune mare.*

Experiențe. Se poate arăta micșorarea presiunii statice cînd crește viteza fluidului cu ajutorul a două experiențe frumoase. Din tablă subțire de aluminiu sau dintr-o carte poștală se taie două dreptunghiuri de 5 × 12 cm. Fiecare din ele se arcuiește (fig. 44), făcîndu-se și un lagăr *A*, prin care se poate introduce un cui orizontal, în jurul căruia se poate roti foaia arcuită. Foaia stă în echilibru, deoarece presiunea atmosferică o apasă la fel din ambele părți. Cu o țcavă sau cu un foen de uscat părul, se suflă un curent de aer pe partea convexă a foii (fig. 44, *a*). Spre surpriza noastră, foaia nu se deplasează spre stînga, cum ne-am aștepta, ci spre partea convexă. De ce? În partea convexă a foii, curentul de aer suferă o gîtuire și deci va avea o viteză mai mare decît pe fața concavă. Din această cauză, aerul va apăsa pe fața convexă mai puțin decît pe fața concavă și de aceea foaia se va deplasa spre dreapta. Experiența se poate repeta cu două asemenea foi curbate (fig. 44,*b*) printre care se suflă un curent de aer.

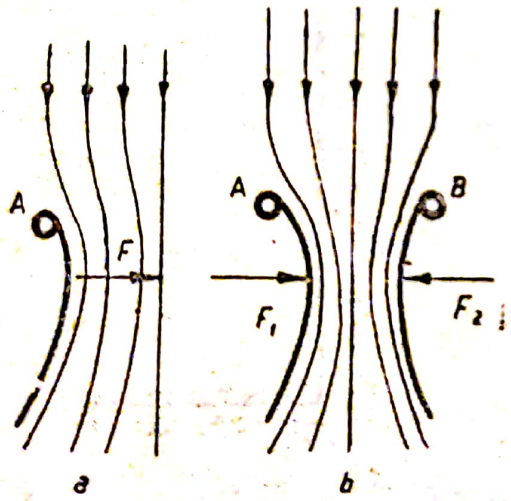

Fig. 44. — Variația presiunii statice cu viteza.

Același fenomen, numit **paradoxul aerodinamic**, se poate arăta experimental cu ajutorul unui balon de cauciuc,

umplut cu aer (fig. 45). Cu ajutorul unui foen (de uscat părul) A, se suflă un curent de aer cu o înclinare de vreo 45°. Ținînd balonul în mînă, îl ridicăm încet pînă cînd

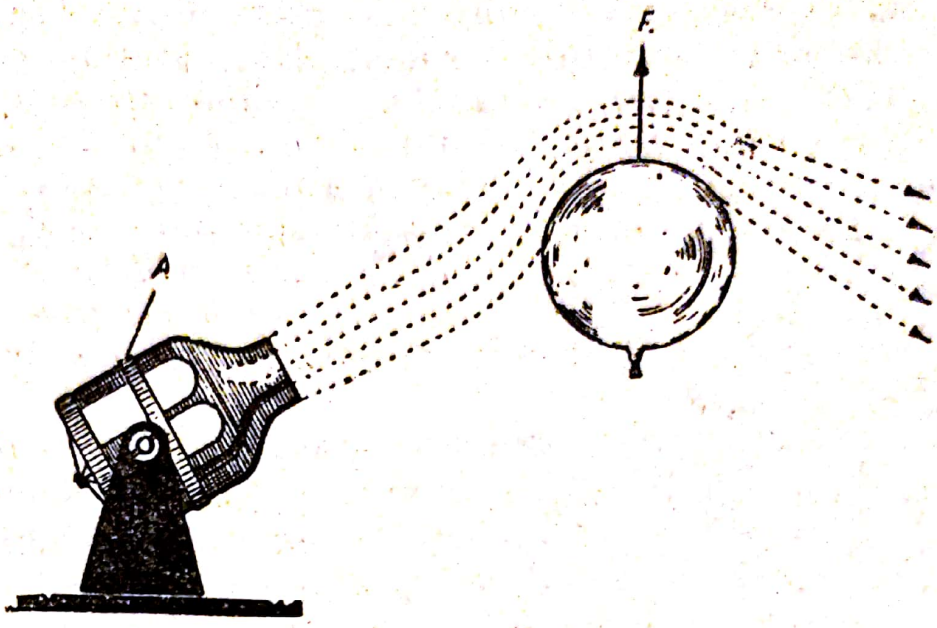

Fig. 45. — Forța de sugere la un balon.

partea lui superioară pătrunde în curentul de aer. După cîteva încercări, se găsește poziția potrivită în care balonul

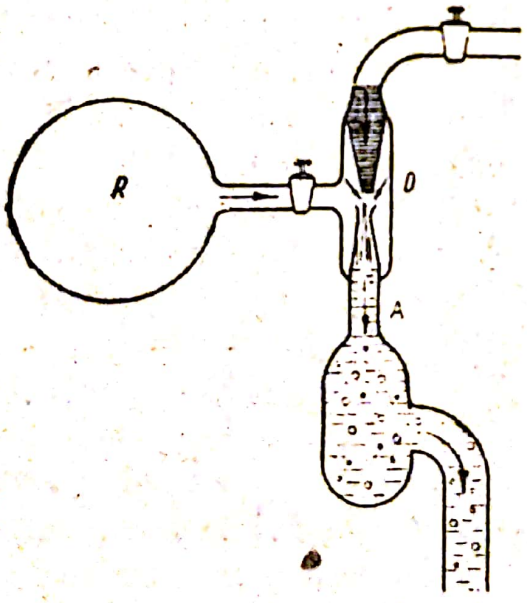

Fig. 46. — Trompa de apă.

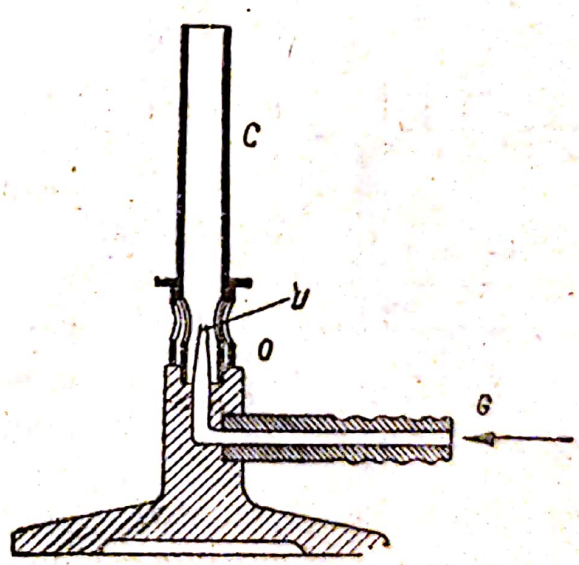

Fig. 47. — Lampa Bunsen cu aer.

rămîne în aer, susținut de forța de sugere care ia naștere pe fața lui convexă superioară, datorită micșorării presiunii statice a aerului față de partea inferioară a balonului.

33. **Aplicații tehnice ale legii lui Bernoulli.** a. Trompă de apă. Este un aparat cu ajutorul căruia se poate rarefia aerul dintr-un recipient închis R, pînă la 25—35 torr. Se compune dintr-un tub subțiat la un capăt D (fig. 46). Prin acest tub curge o vînă de apă. La capătul subțiat D, viteza lichidului, deci și presiunea dinamică cresc. Presiunea statică a lichidului coboară. De aceea se produce o acțiune de sugere a aerului din jur, care este antrenat o dată cu vîna de apă. În felul acesta, aerul din recipientul R este scos treptat prin tubul A.

b. Lampa Bunsen. Pentru a obține o flacără caldă de gaz incandescent se folosește în laboratoare lampa Bunsen, perfecționată de chimistul romîn Niculae Teclu (fig. 47). Prin G intră gazul de ars, care pătrunde printr-o deschidere îngustă D în cilindrul metalic C, deasupra căruia gazul arde. În D, viteza gazului crește, presiunea lui statică scade sub valoarea presiunii atmosferice. Ca urmare, aerul este absorbit prin deschiderile laterale O și întreține arderea gazului la capătul superior al cilindrului C.

c. Pulverizatorul. Se bazează pe același principiu. Se poate construi un pulverizator din două tuburi subțiri de sticlă H și V (fig. 48), subțiate la capăt. Cele două tuburi sînt fixate în așa fel, ca cel orizontal H să aibă deschiderea mică deasupra deschiderii tubului vertical V, care este cufundat în lichidul de pulverizat. Suflîndu-se aer prin tubul orizontal, aerul își mărește viteza la capătul subțiat; deci se micșorează presiunea statică sub valoarea presiunii atmosferice. Astfel lichidul, datorită diferenței de presiune, este aspirat prin tubul vertical V, fiind antrenat și pulverizat de aerul care vine prin H.

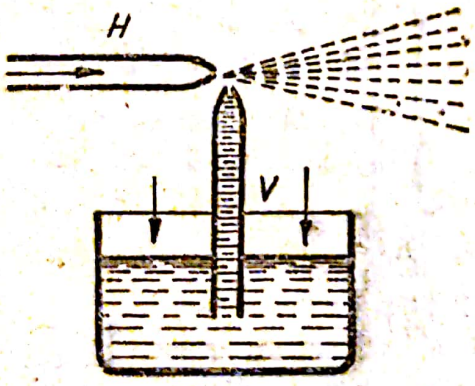

Fig. 48. — Pulverizatorul.

Pe același principiu funcționează *injectorul* care introduce apă în cazanul mașinii cu vapori, precum și *carburatorul* motoarelor cu combustie internă.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este presiunea statică și cu ce se măsoară?
2. Ce este presiunea totală și cu ce se măsoară?
3. Ce este presiunea dinamică și cu ce se măsoară?
4. Enunțați legea lui Bernoulli.
5. Ce relație există între presiunea dinamică și viteza curentului de fluid?
6. Care sînt aplicațiile tehnice ale legii lui Bernoulli? Explicați-le.
7. De ce două vapoare nu trebuie să meargă paralel prea aproape unul de altul?

REZISTENȚA LA MIȘCAREA CORPURILOR ÎN LICHIDE ȘI GAZE VÎSCOASE

34. Curgerea fluidelor prin conducte. Studiul curgerii lichidelor și gazelor reale în tuburi a arătat că viteza de curgere nu este aceeași în toate punctele secțiunii tubului, ci scade către pereți. În contact cu pereții, lichidul este imobil, iar la centrul conductei, viteza fluidului este maximă. Acest lucru se produce datorită forțelor de frecare care se exercită între pereți și fluid, precum și între diferitele straturi de fluid, care au viteze diferite. Această frecare interioară a lichidelor se numește *viscozitate*.

Experiență. Într-o biuretă cu apă (fig. 49, *a*) turnăm un strat înalt de 4—5 cm de apă colorată și apoi lăsăm să curgă apa din biuretă pe o lungime de 7—8 cm. Se constată că stratul de apă colorată a luat o formă (fig. 49, *b*) care dovedește că apa a curs cu viteză mai mare spre mijlocul tubului decît spre pereți.

Lichidul curge ca și cum ar fi format dintr-un mare număr de straturi cilindrice care se învelesc unul pe altul și alunecă unul față de altul. Este o curgere în straturi, care se numește *laminară*. La fel se petrec lucrurile cu orice lichid sau orice gaz, numai că forțele de frecare cresc cu cît fluidul este mai vîscos.

În asemenea cazuri nu se mai poate aplica legea lui Bernoulli. În cazul cînd conducta este mai largă, frecarea de pereți nu mai influențează toată vîna de

Scanned with OKEN Scanner

fluid. Viteza fluidului crește de la valoarea zero, la contactul cu peretele, pînă la valoarea maximă, la o distanță *d* față de perete (fig. 50, *b*).

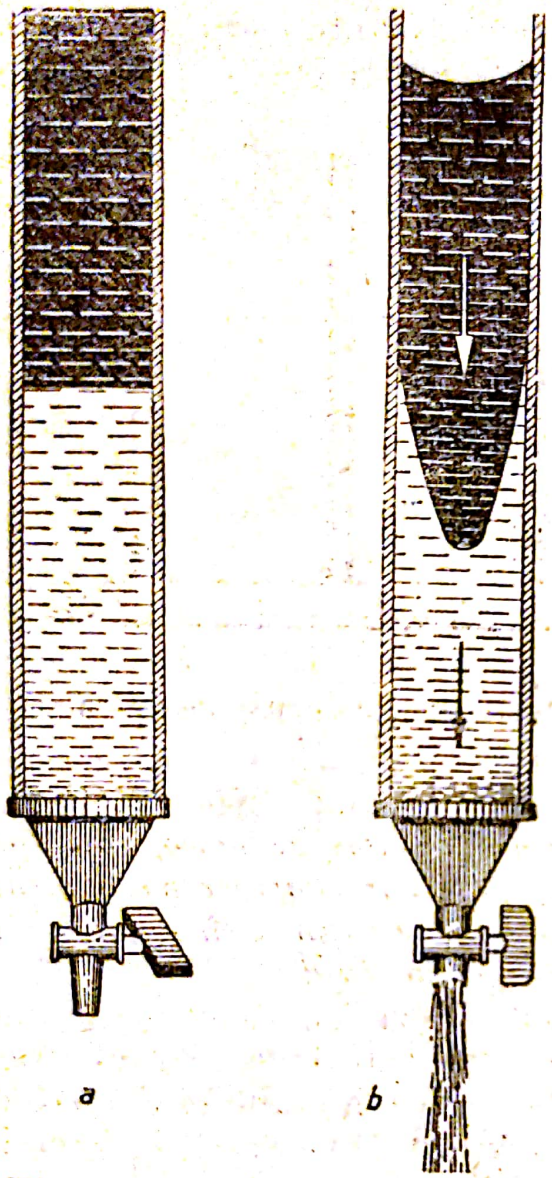

Fig. 49. — Viteza lichidului într-o biuretă.

Datorită forțelor de frecare interioară a fluidelor, se produce, așadar, o micșorare a vitezei de curgere a fluidelor prin *conductele subțiri*. Aceasta înseamnă o micșorare a presiunii dinamice și, dacă s-ar aplica legea lui Bernoulli, ne-am aștepta la o creștere a presiunii statice. Experiența arată că și presiunea statică scade, ceea ce denotă că *presiunea totală nu rămîne constantă*

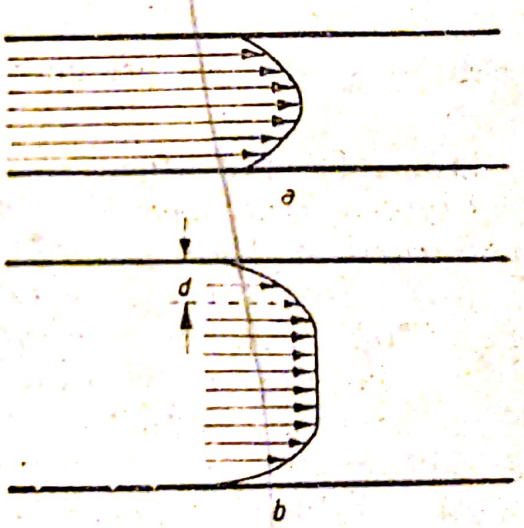

Fig. 50. — Viteza fluidului într-o conductă.

de-a lungul conductei, ci scade. Prin urmare, se consumă energie pentru a învinge frecările interioare ale fluidului, deci se produce o pierdere de presiune numită *pierdere de sarcină* de-a lungul tubului.

E x p e r i e n ț ă. Într-un vas mare cilindric, care are o conductă laterală prevăzută cu sonde de presiune (fig. 51), se toarnă apă cu zahăr, pentru a-i mări viscozitatea; apa este colorată spre a fi mai vizibilă. Cînd robinetul *R*

este închis, lichidul se ridică în toate vasele la același nivel. Cînd robinetul R este deschis, lichidul curge, iar nivelul lui în sondele de presiune scade, dovedind că presiunea scade, cînd lungimea conductei crește. Linia GY arată o *scădere liniară de presiune*, datorită frecării interioare a fluidului și frecării de pereți. Dacă lichidul ar fi perfect, nu s-ar produce această scădere de presiune.

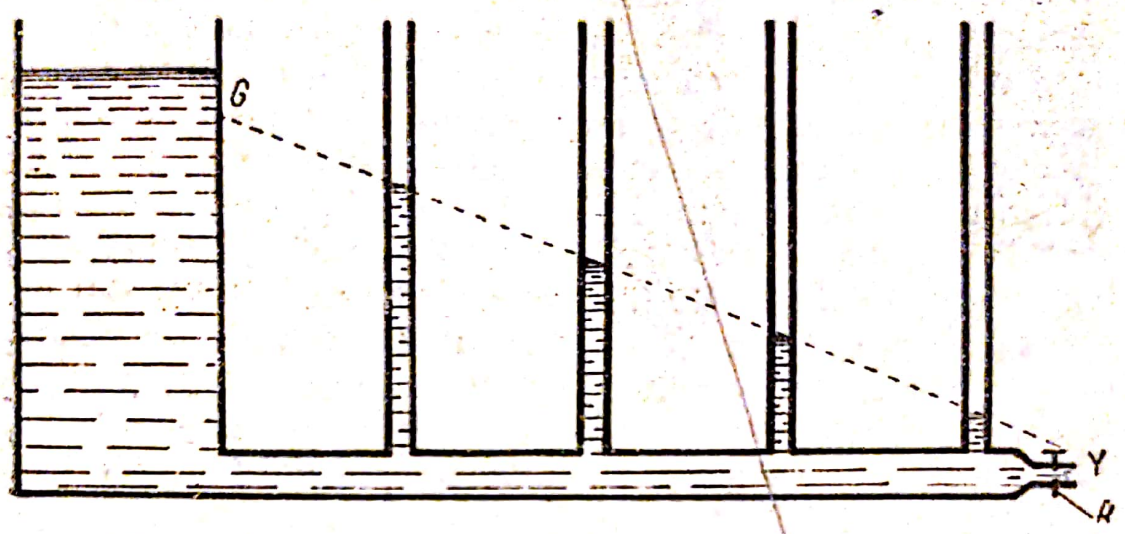

Fig. 51. — Căderea presiunii într-un tub datorită viscozității.

Din cele spuse pînă aici tragem următoarele concluzii: *Fluidele reale posedă viscozitate; forțele de viscozitate fac ca straturile de fluid să curgă cu viteze care variază de la strat la strat; viscozitatea fluidelor face ca presiunea să scadă de-a lungul unei conducte prin care curge un fluid.*

35. **Curgere turbulentă.** Cînd viteza cu care curge un fluid printr-o conductă este mică, liniile de curent sînt paralele între ele; curgerea se numește *laminară*. Dacă viteza fluidului depășește o anumită valoare, curgerea fluidului devine *turbulentă*. Liniile de curent devin șerpuitoare, deoarece în fluid se nasc vîrtejuri.

Acest fenomen se poate arăta experimental cu aparatul din figura 36, deschizînd mult robinetul R. Firul de apă colorată șerpuiește, se destramă și se amestecă în toată apa din conducta C.

Vîrtejurile de fluid se produc ori de cîte ori există deosebiri mari între vitezele cu care curg straturile vecine de fluid.

Din această cauză, straturile mai lente frînează pe cele mai rapide și masele de fluid se pun în mișcare de rotație,

adică se formează vîrtejurile. Aceste mase de fluid care se rotesc în vîrtejuri posedă energie cinetică; în felul acesta se produce o frînare a curgerii fluidului prin pierdere de energie. Se observă ușor formarea vîrtejurilor la curgerea apei printr-o pîlnie. Pe măsură ce lichidul coboară spre părțile cu diametru mai mic ale pîlniei, lichidul are viteză mai mare și se formează vîrtejuri.

36. **Rezistența la înaintarea corpurilor prin fluide.** Din experiență proprie se știe că este greu să mergi prin apa adîncă a unui lac, după cum este greu să te menții pe loc în apa unui rîu repede sau pe stradă în timp de furtună. În toate aceste cazuri, corpul întîmpină o forță de rezistență din partea fluidului — lichid sau gaz. Lucrurile se petrec la fel, fie că un corp se mișcă într-un fluid aflat în repaus, fie că el stă pe loc într-un curent de fluid. Pentru navigația pe apă și cea aeriană, pentru construirea de vehicule terestre rapide, ca și pentru construcția de clădiri sau fabrici, este de mare interes să se cunoască rezistența corpurilor în fluide. Pentru a studia în laborator această rezistență, corpul de cercetat se așază într-un curent puternic de aer, produs într-o instalație specială, numită *tunel aerodinamic*. Curentul de aer este produs cu ajutorul unei elice puse în mișcare de un motor și este apoi reglat cu dispozitive speciale, pentru ca liniile lui de curent să fie cît mai paralele. Pentru experiențe de laborator se mai poate produce un curent de aer cu un foen de uscat părul. Forțele aerodinamice exercitate de curentul de aer asupra corpului se măsoară cu ajutorul unei balanțe de construcție specială, numită balanță aerodinamică (fig. 52).

Măsurîndu-se forța aerodinamică produsă de același curent asupra unor discuri care au arii diferite, s-a constatat că această forță este proporțională cu aria S a discului așezat perpendicular pe direcția curentului de fluid. Pentru aceeași arie a discului s-a constatat că forța de rezistență R este proporțională cu pătratul vitezei v a curentului de aer. Aceste rezultate pot fi exprimate printr-o formulă, numită *legea lui Newton*:

$$\boxed{R = K S v^2,} \qquad (19)$$

în care K este un factor de proporționalitate. S-a constatat că acest factor depinde de forma corpului și de densitatea fluidului.

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul balanței din figura 52 s-a măsurat forța de rezistență produsă de un curent de aer care suflă cu aceeași viteză asupra unor corpuri cu forme diferite, dar care au aceeași secțiune transversală maximă. Valorile găsite pentru

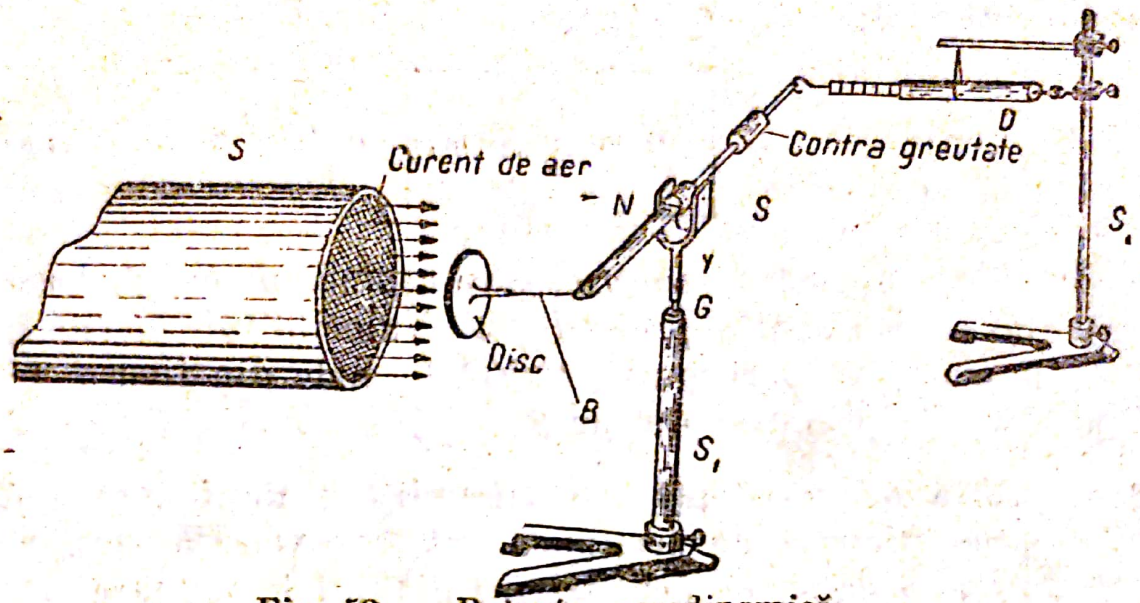

Fig. 52. — Balanța aerodinamică.

forța de rezistență produsă în aer pentru corpuri de forme diferite, dar cu aceeași secțiune transversală (circulară), sînt reprezentate în graficul din figura 53. Se constată

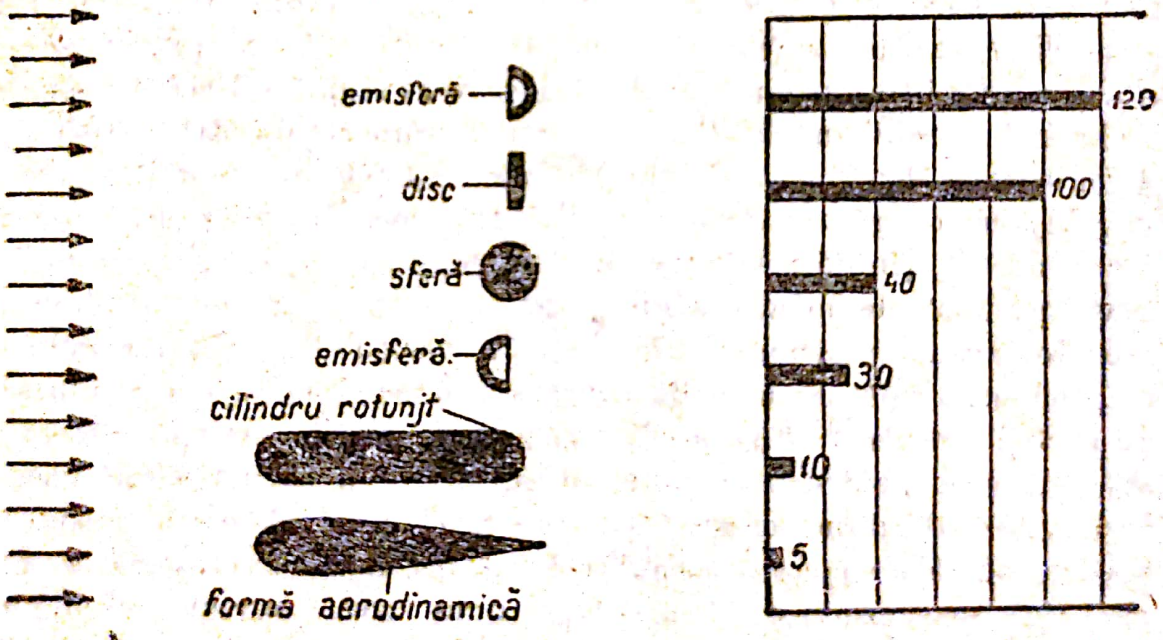

Fig. 53. — Graficul rezistențelor aerodinamice pentru diferite profile.

că forța de rezistență variază foarte mult cu profilul longitudinal al corpului, fiind maximă pentru o emisferă care se opune curentului de fluid cu partea concavă. Ea are

Scanned with OKEN Scanner

valoarea minimă pentru corpul cu forma fuselată, asemenea corpului păsărilor sau peștilor. Asemenea formă se numește **profil aerodinamic.** Din toate aceste măsurători se poate deduce că expresia legii lui Newton pentru rezistența aerodinamică este:

$$R = \frac{C}{2} \rho v^2 S \qquad (20)$$

unde C este un *factor numeric*, care *depinde numai de forma corpului și de starea suprafeței lui.* Valorile lui, mărite de 100 de ori, pentru corpurile avînd formele din figura 53, sînt numerele din dreapta fiecărui grafic din acea figură.

Forța de rezistență aerodinamică a unui corp este proporțională cu secțiunea lui transversală maximă, proporțională cu densitatea fluidului în mișcare și cu pătratul vitezei curentului de fluid.

37. **Cauza forței de rezistență aerodinamică.** Rezistența întîmpinată de un corp la mișcarea într-un fluid are două cauze: În primul rînd este *frecarea interioară* sau *viscozitatea fluidului.* Prin frecarea straturilor de fluid unele de altele, fluidul exercită asupra corpului o acțiune de încetinire a mișcării lui, care se manifestă sub formă de rezistență aerodinamică. Partea cea mai importantă din rezistența aerodinamică provine însă din *mișcarea maselor de fluid sub formă de vîrtejuri* în regiunea turbulentă din urma corpului. Se poate observa lucrul acesta, ținînd o scîndură într-un curent de apă. Se simte rezistența produsă de mișcarea apei, iar în urma scîndurii se observă ușor regiunea cu vîrtejuri (fig. 54). În partea din față a scîndurii se produce o apăsare a ei de către presiunea dinamică a fluidului. În partea din urmă B, se produc vîrtejurile maselor de apă care consumă energie pentru a se pune în mișcare. În regiunea cu vîrtejuri, viteza fluidului crește, încît se produce o scădere a presiunii statice, adică o sugere a corpului în urmă, deci o creștere a rezistenței la înaintare. Rezistența unui corp într-un curent de fluid se compune din presiunea dinamică exercitată de curentul de fluid asupra feței anterioare a corpului și dintr-o acțiune de sugere a suprafeței posterioare a corpului. Acțiunea presiunii dinamice poate fi micșorată prin rotunjirea părții anterioare a corpului. Pentru a micșora rezistența datorită vîrtejurilor, va trebui să fie

Scanned with OKEN Scanner

stingherită formarea lor; în acest scop, se va da corpului o formă care să ocupe regiunea în care se formează vîrtejurile. Corpul trebuie să aibă profil aerodinamic (fig. 55). Dintre toate corpurile cu aceeași secțiune transversală maximă, corpul cu forma aerodinamică este corpul care întîmpină cea mai mică rezistență din partea curentului de fluid. Toate corpurile care se mișcă rapid în curenții de fluid sau se găsesc în curenții de fluid se fac cu profil aerodinamic: avioane, vapoare, locomotive, automobile, picioare de poduri, hornuri etc. Și animalele care zboară sau înoată au această formă: păsările, peștii.

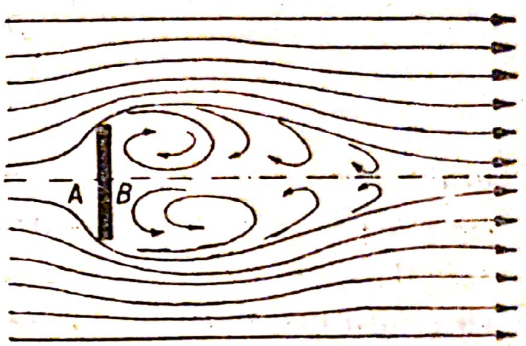

Fig. 54. — Vîrtejurile formate în urma unui corp

38. **Parașuta.** Parașuta este un aparat cu ajutorul căruia se poate frîna mișcarea de cădere a unui corp în aer. Se bazează pe rezistența foarte mare suferită de o emisferă care se mișcă cu concavitatea înainte (fig. 53). Ea servește la lansarea unei persoane sau a unui pachet dintr-un avion în timpul mersului.

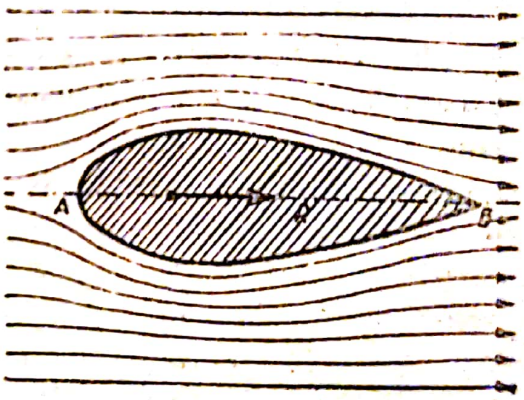

Fig. 55. — Profil aerodinamic.

Un corp care cade în aer are o viteză care crește proporțional cu timpul; el întîmpină din partea aerului o rezistență proporțională cu pătratul vitezei de cădere. La un moment dat, rezistența corpului va crește atît de mult, încît va echilibra greutatea lui:

$$K\,Sv^2 = mg.$$

Din acest moment, forța rezultantă care acționează asupra corpului fiind nulă, corpul va continua să cadă în mod uniform în virtutea inerției cu viteza pe care o avea în momentul echilibrării greutății sale. Această viteză se numește *viteză limită*, iar valoarea ei se poate scoate din relația precedentă:

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{mg}{KS}}.} \qquad (21)$$

Scanned with OKEN Scanner

Existența vitezei limită arată de ce cade paraşuta cu o mişcare uniformă. Picăturile de ploaie cad de asemenea cu o mişcare uniformă. O picătură de ploaie cu diametrul de 1 mm cade cu o viteză de 5 m/s, iar o picătură de ceață cu diametrul de 0,01 mm cade cu o viteză de 0,5 m/s.

Din cele spuse pînă aici tragem următoarele concluzii: *datorită viscozității, fluidele opun rezistență la mişcarea corpurilor; această rezistență depinde şi de forma corpurilor; tehnica foloseşte această rezistență la paraşută.*

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce efect au forțele de frecare interioară ale fluidelor asupra curgerii lor prin conducte?
2. Care este legea care dă valoarea forței de rezistență aerodinamică?
3. Prin ce se deosebeşte rezistența datorită suprafeței corpului de rezistența datorită formei corpului care se mişcă, în fluid?

BAZELE FIZICE ALE ZBORULUI AVIONULUI

39. **Portanța.** În lecțiile precedente am văzut că un corp care are o formă simetrică şi este aşezat, de asemenea simetric, într-un curent fluid, suferă din partea acestuia o forță de rezistență aerodinamică. Efectul ei este de a-l antrena în direcția mişcării, dacă este în repaus,

Dacă fluidul este în repaus şi corpul se mişcă, efectul este de a-l frîna (fig. 53 şi 54).

Din experiențele făcute s-a constatat că, în cazul unui corp care este înclinat față de direcția de mişcare a curentului de aer, se produce o forță aerodinamică, al cărei efect este împingerea corpului în sus. Ne dăm seama direct de existența acestei forțe aerodinamice dacă scoatem mîna pe fereastra unui tren în mers şi o ținem cu palma înclinată față de orizontală, cu fața înainte: simțim o împingere a palmei în sus.

Forța aerodinamică verticală de împingere în sus a unui corp aflat într-un curent de aer se numeşte **portanță** *sau* **sustentație.**

40. **Cum ia naştere portanța?** Răspunsul la această întrebare este uşor de dat, dacă se cercetează spectrul aerodinamic al corpurilor în curentul de fluid. Am văzut că,

Scanned with OKEN Scanner

în cazul unui corp simetric care se deplasează paralel cu axul său de simetrie (fig. 55), se produce o forță aerodinamică R, îndreptată în sensul mișcării curentului de aer, care se numește *rezistență la înaintare*. În cazul unui corp cu *profil* asimetric (fig. 56), spectrul aerodinamic arată că liniile de curent de pe partea convexă (superioară) sînt mai curbate și mai dese decît cele de pe partea inferioară. Lucrurile se petrec ca și cum curentul de fluid ar suferi o strangulare (îngustare) deasupra corpului. Din această cauză, particulele de fluid au viteză mai mare pe partea superioară decît pe partea inferioară a corpului. Ca urmare, presiunea statică exercitată de fluid asupra corpului va fi mai mică pe partea superioară a corpului decît pe partea lui inferioară (legea lui Bernoulli). Diferența dintre aceste două presiuni statice este îndreptată de jos în sus și reprezintă tocmai portanța P.

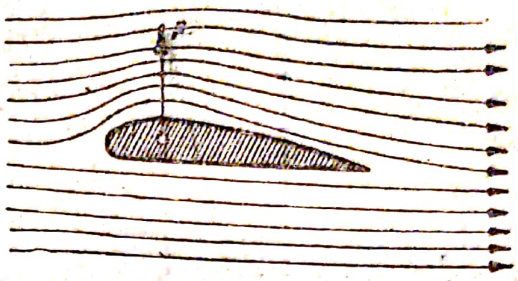

Fig. 56. — Portanța.

Așadar, *portanța rezultă din diferența presiunilor datorite vitezelor cu care curge fluidul pe partea inferioară și cea superioară a profilului asimetric*. Portanța este numai componenta verticală a forței aerodinamice totale R, care ia naștere în cazul unui corp asimetric; R face un unghi cu direcția curentului de fluid. Din această cauză apare și o rezistență la înaintare, care este componenta orizontală a forței aerodinamice R. Ținînd seamă de proprietățile profilului curbat de a produce portanță și de proprietatea formei aerodinamice de a întîmpina rezistență mică la înaintare, se construiesc profiluri de aripi de avion (fig. 57), care dau o rezistență cît mai mică la înaintare și o portanță cît mai mare.

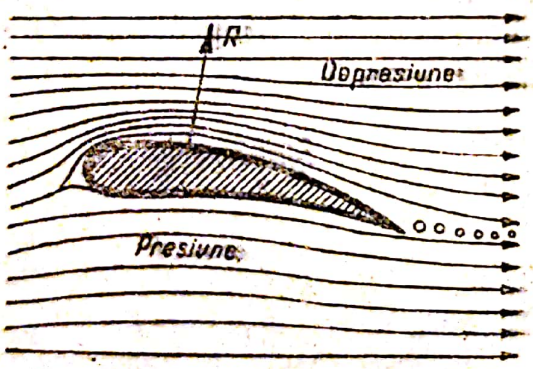

Fig. 57. — Profilul unei aripi de avion.

41. **Aripa avionului.** Organul activ care produce portanța necesară susținerii avionului în aer este aripa (fig. 58).

Scanned with OKEN Scanner

Ea formează un unghi de înclinare α față de direcția de deplasare a avionului. Acest unghi se numește *unghi de atac*. Forța aerodinamică R, produsă prin mișcarea aripii, se poate descompune în două componente. Componenta orizontală R_x este *rezistența la înaintare*, care este învinsă de către forța de tracțiune a elicei. Componenta verticală R_z este *portanța*.

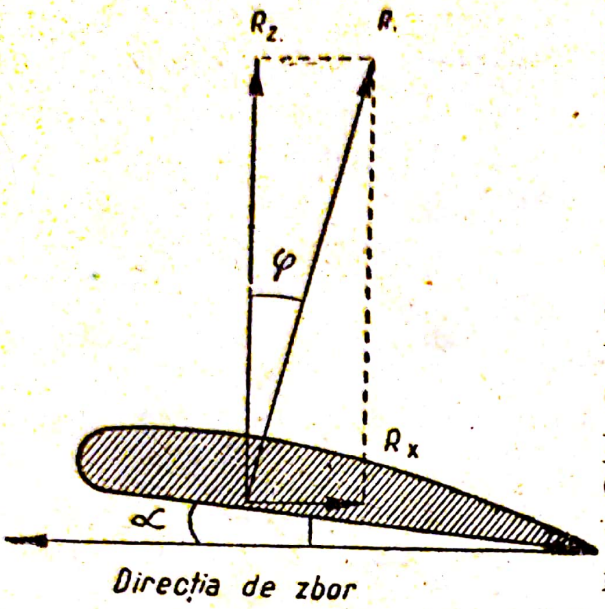

Fig. 58. — Aripa avionului.

S-a observat că portanța crește o dată cu unghiul de atac pînă la o anumită valoare a acestuia, apoi, dacă unghiul de atac crește prea mult, portanța scade. Calitățile unui profil de aripă se deduc după valorile portanței la diferite unghiuri de atac. Studiul aripii și teoria portanței în legătură cu profilul aripii a fost făcut de N. E. Jukovski.

42. **Avionul.** Este un aparat de zburat, mai greu decît aerul. Un avion se compune din următoarele părți principale: aripă, grup motopropulsor, fuselaj, tren de aterizaj, organe de comandă și stabilitate (fig. 59 și 60).

Aripa creează forța portantă; grupul *motopropulsor* creează forța de tracțiune; *fuselajul* este corpul de care

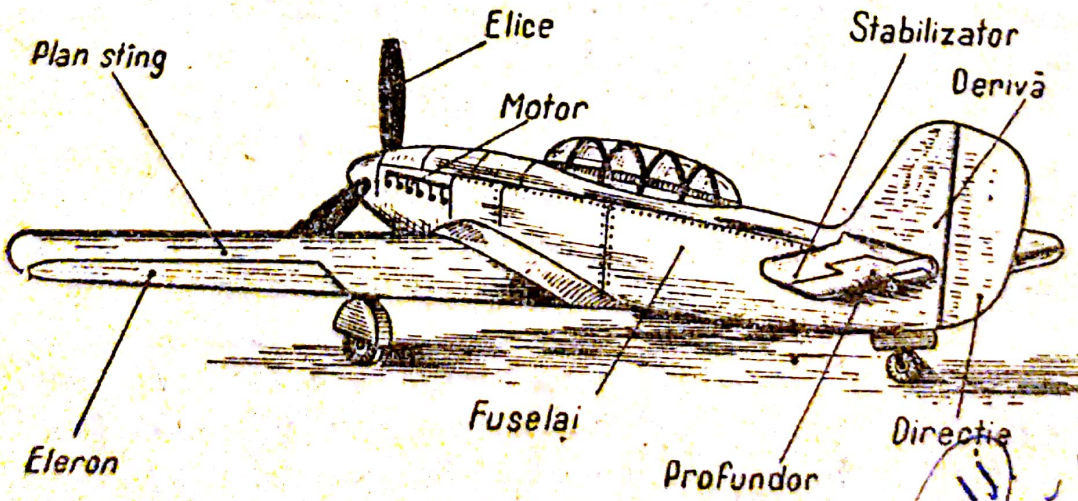

Fig. 59. — Părțile avionului.

se fixează părțile principale ale avionului; *organele de comandă* și *stabilitate* permit manevrarea avionului.

43. **Zborul avionului.** Din cele spuse pînă aici, constatăm că avionul se ridică în aer datorită forțelor aerodinamice (fig. 61). Motorul pune în mișcare elicea, care se înșurubează în aer și produce o tracțiune T, propulsînd avionul cu viteze foarte mari. Datorită acestei viteze față

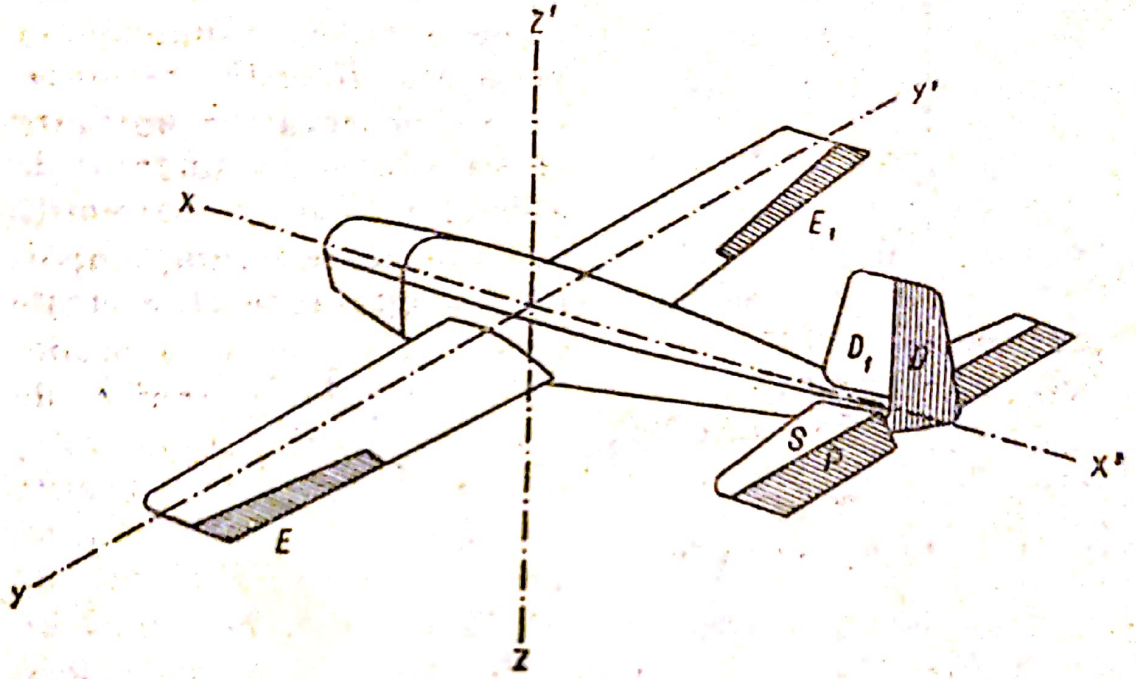

Fig. 60. — Organele de stabilitate.

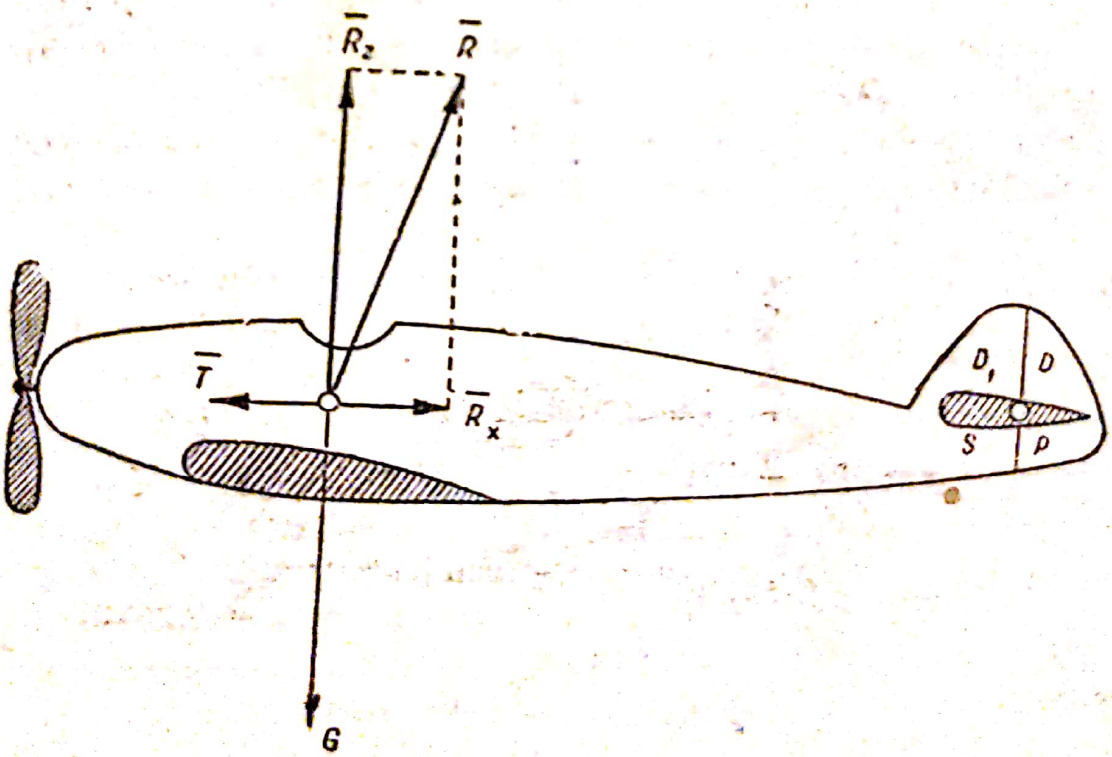

Fig. 61. — Principiul de zbor al avionului.

de aer, pe aripi se naște forța aerodinamică R, care dă o componentă verticală R_z, portanța, îndreptată în sens opus forței de greutate G a avionului, pe care o învinge. De aceea, avionul se ridică în aer. În cursul unui zbor orizontal uniform și în linie dreaptă, echilibrul forțelor care acționează asupra avionului se realizează în modul cel mai simplu. Forța de tracțiune T echilibrează rezistența la înaintare R_x, care este componenta orizontală a forței aerodinamice R, născută la aripa A, adică $T = R_x$.

Totodată, portanța R_z echilibrează forța de greutate G a avionului, adică $R_z = G$. În cazul unui planor (avion fără motor), zborul său se face prin cădere pe un plan înclinat, încît forța de tracțiune este dată de o componentă a forței de greutate după direcția axului longitudinal al planorului (fig. 62).

44. **Scurtă privire asupra evoluției avionului.** Zborul în aer pentru stăpînirea văzduhului a fost unul din cele mai vechi visuri ale omenirii. Povestea lui Icar, legenda meșterului Manole, nu sînt decît reflectări ale acestei dorințe, concretizată în încercări de realizare pierdute în negura

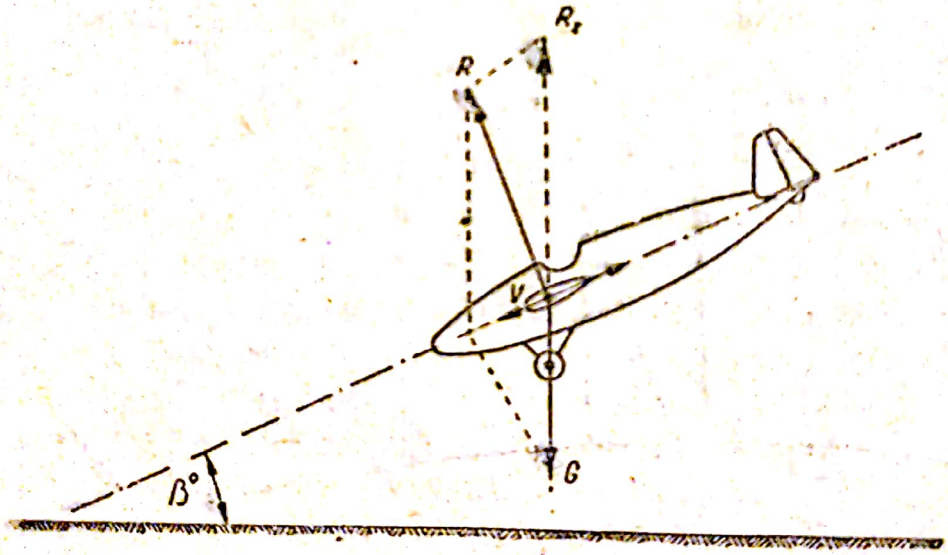

Fig. 62. — Principiul de zbor al planorului.

vremurilor. Astăzi, avionul a cucerit spațiul aerian. Pentru aceasta a fost nevoie de multe cercetări și observații, de multe încercări. N. E. Jukovski a spus: „Omul va zbura, bazîndu-se nu pe forța mușchilor săi, ci pe forța rațiunii sale".

Leonardo da Vinci (1452—1519), un mare pictor italian și în același timp vestit om de știință, a lăsat schițe de

Scanned with OKEN Scanner

mașini de zburat, arătînd că era preocupat de această problemă, prea timpurie pentru epoca sa.

El a prevăzut în mod științific zborul mecanic și a scris că, „exercitînd cu ajutorul unor mari aripi bine construite o presiune asupra rezistenței atmosferei, omul poate să devină stăpîn pe ea și să se ridice".

Spre sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea se înmulțesc cercetările asupra zborului cu aparate mai grele decît aerul.

În anul 1882, constructorul rus *Al. Mojaiski* realizează un avion monoplan, avînd un motor cu abur.

În anul 1890, francezul *C. Ader* a construit un avion cu motor cu abur de 20 CP, cu care a reușit să facă mai multe salturi. Cam în aceeași vreme, *O. Lilienthal*, după numeroase observații și studii, a construit un planor cu care a executat peste 2 000 de zboruri, aruncîndu-se de la înălțimi mici, pînă cînd a murit (1896) într-un accident de zbor. De la el au rămas multe observații cu privire la zborul planat.

În 1903, frații *Wright* construiesc un avion cu motor cu benzină și execută zboruri, după ce avionul rula pe niște șine, pînă cînd atingea viteza necesară zborului. Inginerul bănățean *Traian Vuia* a proiectat și a construit un avion cu elice tractivă și cu șasiul montat pe 4 roți de bicicletă. Avionul avea un motor cu acid carbonic de 25 CP. Cu acest aparat, Vuia a reușit să execute pentru prima oară un zbor cu decolare și aterizare, fără să utilizeze artificii de lansare ca înaintașii săi. Publicația franceză „Histoire de l'Aéronautique" din 1932 scrie: „Aparatul lui Vuia este cel mai vechi aparat care a fost montat pe roți cu cauciuc. Vuia a făcut el însuși încercări pe o șosea la Montesson[1]. La 18 martie 1906, el a reușit să zboare la o înălțime de 60 cm pe o distanță de 12 m, apoi să se așeze pe cîmp fără nici un șoc". În iulie 1909, aviatorul *Blériot* a zburat pe deasupra Canalului Mînecii cu un avion, deschizînd astfel era aviației, care leagă între ele țări și continente.

Perioada de pionierat a aviației cunoaște și numele multor savanți ruși. Astfel bazele științei zborului mecanic au fost puse de *N.E. Jukovski*, care a făcut numeroase cercetări de hidrodinamică și aerodinamică, dînd (1910) explicația portanței pentru aripile de avion. Împreună cu elevul său *S.A. Ceaplîghin* au studiat formarea vîrtejurilor

[1] **Montesson** — localitate în Franța. — **Nota red.**

și a forței de ascensiune. Problema propulsării avioanelor prin reacție a fost cercetată de către *K.E. Țiolkovski*, care a obținut rezultate importante. El a studiat și zborul interplanetar, elaborînd și proiecte în acest scop.

Aviația romînească își are începuturile în eforturile și activitatea lui *Aurel Vlaicu*. După încercări nereușite în alte părți, el reușește, cu ajutorul prietenilor săi, să construiască în Binținți, lîngă Orăștie, un planor cu care a zburat la 15 m înălțime, după ce avionul a alergat pe pămînt cîțiva km, tras de trei cai în galop. Luptînd cu multe greutăți, ca și cu lipsa de înțelegere din partea autorităților timpului, Vlaicu a reușit totuși să construiască un avion după concepții proprii, cu un motor de 50 CP. Cu acest avion el zboară la 16 august 1910 la peste 100 m înălțime, în fața autorităților și a unui public numeros. În felul acesta țara noastră este printre primele țări care au construit aparate de zbor originale, cu utilizări practice. În 1912, A. Vlaicu a concurat la consursul internațional de la Aspern, lîngă Viena. Cu avionul său, el s-a clasificat primul la proba de viraj, și al doilea la aterizarea pe loc fixat. Încercînd un zbor de trecere peste Carpați, A. Vlaicu se prăbușește cu avionul la 13 septembrie 1913, avînd vîrsta de numai 31 de ani.

Astăzi aviația a luat o dezvoltare uriașă, fiind cel mai rapid mijloc de transport. Avioanele reactive au ajuns la viteze care depășesc viteza sunetului în aer.

Avioanele de transport folosesc turbinele cu gaze, care sînt mai ușoare și mai mici decît motoarele cu piston pentru aceeași putere. La viteze de peste 800 km/h randamentul lor este mare și totodată permit zborul la mari altitudini.

Avionul construit de academicianul sovietic A.N. Tupolev, TU 104, este echipat cu 2 turboreactoare de cîte 6750 kgf tracțiune fiecare. Avionul cîntărește 54 t, are suprafața aripilor de 150 m^2 și poate încărca 70 de pasageri, zburînd la peste 10 km altitudine. A.N. Tupolev a construit ulterior un avion de capacitate sporită, TU 114.

În țara noastră, imediat după 23 August 1944, transporturile aeriene se găseau într-o situație deosebit de grea. Avioanele, extrem de puține, erau uzate, iar aerogările, cu toate instalațiile aeroportuare, erau în majoritatea lor distruse de bombardamente, deteriorate și părăginite. Prin grija partidului și guvernului, cu ajutorul Uniunii Sovietice, s-a înnoit complet parcul de avioane pentru transportul

Scanned with OKEN Scanner

public, s-a început dezvoltarea într-un ritm rapid a transportului aerian. A fost modernizat aeroportul Băneasa, a fost construită aerogara Băneasa — una dintre cele mai moderne din Europa — s-au construit piste betonate pe aeroportul Arad și s-au înființat aeroporturi noi la Brașov, Tulcea, Deva, Constanța etc.

În afară de transporturi de pasageri și mărfuri, aviația noastră participă activ la îndeplinirea unor sarcini speciale în domeniul sanitar, poștal, agrosilvic, meteorologic, precum și la efectuarea de studii geotehnice etc.

Pe plan internațional, transportul aerian romîn (TAROM) și-a extins legăturile aeriene internaționale cu U.R.S.S. și cu țările de democrație populară, precum și cu alte țări, ca: Grecia, Austria, Danemarca, Suedia, Belgia etc.

ENERGIA HIDRAULICĂ ȘI EOLIANĂ

45. **Roți hidraulice.** Pe măsură ce tehnica s-a dezvoltat, a fost nevoie de energii mai mari. La început s-a folosit forța musculară a animalelor sau a sclavilor. Cînd această forță a devenit insuficientă, tehnica a căutat să folosească energii naturale. O sursă naturală de energie a fost energia apei, folosită din timpuri vechi la roțile hidraulice pentru grădinărie, măcinatul cerealelor etc., și energia vîntului folosită la mișcarea corăbiilor, a morilor etc. Roata hidraulică acționată la partea inferioară a fost descoperită încă din antichitate. Această roată utilizează energia cinetică a curentului de apă, care lovește paletele roții și o pune în mișcare de rotație.

Din energia curentului de apă, o parte servește la învingerea frecărilor și acționarea roții, iar restul rămîne ca energie cinetică a apei, care curge mai departe. Dar energia utilă a curentului de apă este mai mică decît energia lui totală. Randamentul acestor roți hidraulice este cam de 35%.

Roțile hidraulice acționate la partea superioară (fig. 63) sînt puse în mișcare de forța de greutate a apei care cade pe paletele roții și servește ca forță motoare.

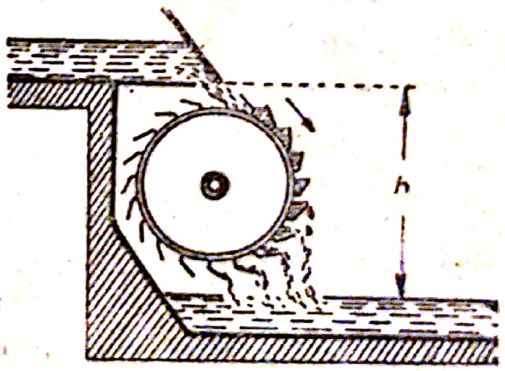

Fig. 63. — Roți hidraulice acționate la partea superioară.

Aceste roți folosesc energia potențială a apei, care trebuie să aibă o diferență de nivel cel puțin egală cu diametrul roții hidraulice. Dacă curentul de apă care cade pe roată de la înălțimea h are debitul m kg/s, puterea curentului de apă va fi:

$$P = mgh \text{ watt} = \frac{mgh}{1\,000} \text{ kW} \qquad (22)$$

Randamentul unei asemenea roți este cam de 75%. Viteza unghiulară este cam de 5—10 rot/min; se folosesc mecanisme cu roți dințate, pentru a mări viteza unghiulară și a o folosi la ferăstraie, mori, mașini de găurit, steampuri de măcinat minereuri, piuă pentru bătut postavul, mașini de tors etc.

46. **Turbine cu apă.** Folosirea rațională a energiei hidraulice se face cu ajutorul turbinelor cu apă. Turbina transformă energia potențială a unui agent motor (în cazul de față apa) în energie cinetică și pe aceasta în energie mecanică a unor piese mobile. Transformarea energiei potențiale în energie cinetică se face în *ajutaje*. Acestea sînt conducte cu secțiune variabilă. Cînd secțiunea ajutajului scade, crește viteza fluidului, adică energia lui cinetică, și scade presiunea, adică energia potențială (legea lui Bernoulli).

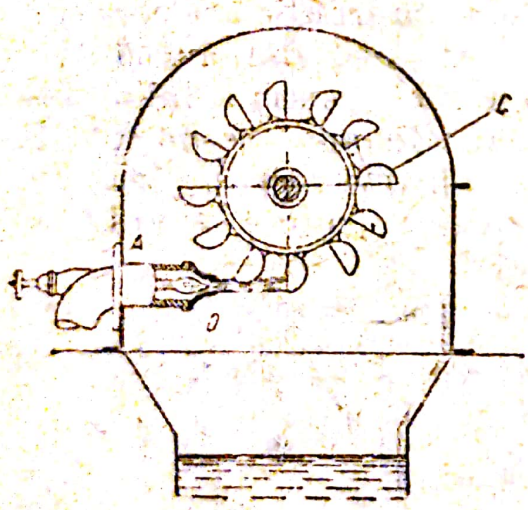

Fig. 64. — Turbina Pelton.

După diferența de nivel și după debitul apei, sînt mai multe feluri de turbine hidraulice. Pentru diferențe de nivel mari și debite relativ mici se folosește turbina Pelton (fig. 64), care poate avea o turație de 4—30 rot/s. Este formată dintr-un *rotor cu cupe* C în care intră jetul de apă care iese printr-o duză D, a unui ajutaj convergent A. După mărimea debitului pot fi 2—3 asemenea ajutaje. Cupele rotorului sînt concave, cu concavitatea îndreptată spre jetul de apă, și au o muchie ascuțită la mijloc, care împarte jetul în 2 părți, pe care le întoarce cu 180° (fig. 65). În ajutaj se transformă energia potențială a apei în energie

cinetică, adică viteza apei crește la o anumită valoare, cu care intră în cupă. Forța de presiune exercitată de către jetul de apă asupra pereților cupei produce mișcarea de rotație a rotorului. Mișcarea de rotație a axului rotorului produce energia mecanică, utilizată în diferite scopuri. Asemenea turbină se numește *turbină cu acțiune*, deoarece energia potențială s-a transformat în energie cinetică, de-a lungul ajutajelor, iar presiunea statică a jetului de apă a devenit nulă. Acțiunea este produsă numai de presiunea dinamică.

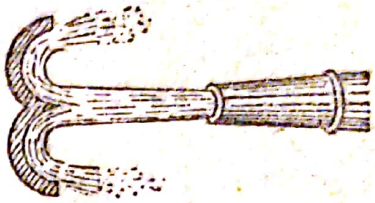

Fig. 65. — O cupă a rotorului.

Forța de acțiune este forța produsă asupra unui corp prin lovirea de către un fluid care cade asupra lui cu o anumită viteză.

Considerînd un jet de apă care lovește o suprafață venind cu o anumită viteză (fig. 66,*a*), se va exercita asupra acestei suprafețe o forță de presiune F. Dacă însă suprafața este

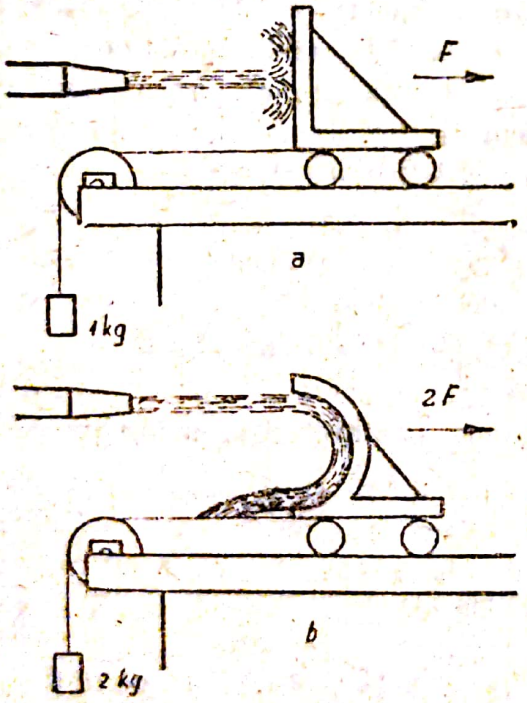

Fig. 66. — Explicarea forței de acțiune.

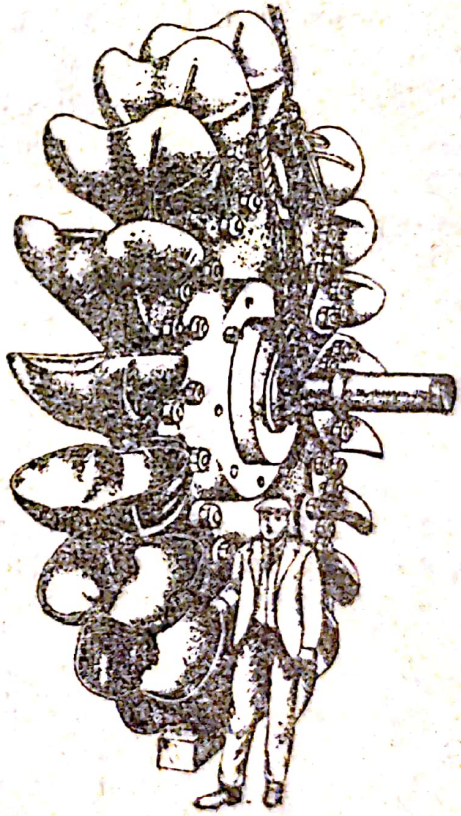

Fig. 67. — Rotorul turbinei Pelton.

curbă (fig. 66,*b*), așa încît jetul de apă să fie întors cu 180° față de direcția inițială, forța de acțiune exercitată de jetul de apă va da o forță de 2 ori mai mare decît în primul caz.

47. **Centrale hidroelectrice.** Cele mai importante utilizări ale turbinelor hidraulice sînt la acționarea generatoarelor electrice în centralele hidroelectrice. Turbinele folosesc energia hidraulică a căderilor de apă sau a lacurilor de acumulare obținute cu ajutorul barajelor construite transversal pe albia unui rîu. Apa intră printr-un ajutaj la rotorul unei turbine pe care-l pune în rotație și iese printr-o conductă axială. Pe axul rotorului se găsește rotorul unui generator electric. În Uniunea Sovietică s-au construit baraje uriașe, care alimentează hidrocentrale cu puteri foarte mari. Așa este hidrocentrala de la Kuibîșev, care are o putere de 2 000 000 kW.

În țara noastră, numai după instaurarea regimului de democrație populară, prin hotărîrile partidului și guvernului nostru, s-a elaborat un plan vast de punere în valoare a energiei apelor. În scopul creării unor surse puternice de producere a energiei electrice bazate pe utilizarea energiei apelor, s-a construit un însemnat număr de hidrocentrale prevăzute în planul de electrificare. S-au pus în funcțiune centralele hidroelectrice de la Moroeni (de 15 300 kW putere instalată), Văliug, Crișul Repede, Sadu V (15 400 kW), Sădurel. Cea mai mare hidrocentrală este hidrocentrala „V.I. Lenin" de la Bicaz, pe rîul Bistrița, cu o putere de 210 000 kW. Lacul de acumulare, lung de 35 km, va servi și pentru irigarea unei suprafețe de 300 000 ha.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce sînt roțile hidraulice?
2. Ce transformări de energie se produc la funcționarea turbinelor?
3. Descrieți turbina de acțiune.
4. Ce centrale hidroelectrice construite în R.P.R. cunoașteți?

PROBLEME

1. O turbină Pelton, care funcționează la o diferență de 195 m, are debitul de 9,4 m^3/s.
Ce randament are dacă produce 15 000 kW?

Răspuns: 83%.

2. Ce putere are o hidrocentrală cu debitul apei de 2 m^3/s, dacă apa cade de la 10 m înălțime, iar randamentul este de 70%?.

Răspuns: 137,2 kW.

Scanned with OKEN Scanner

BAZELE TEORIEI CINETICO-MOLECULARE

48. **Molecule și atomi.** Ca să explice mulțimea nesfîrșită de transformări ale naturii, gînditorii materialiști din antichitate, ca Leucip și Democrit, au presupus că materia este corpusculară, adică formată din părticele foarte mici, indivizibile, pe care le-au numit *atomi*. Prin mișcarea atomilor, acești filozofi explicau formarea și descompunerea corpurilor, precum și toate fenomenele din natură. Abia pe la mijlocul secolului al XVIII-lea, concepția despre atom capătă un aspect științific, prin lucrările lui Bernoulli (1738) și, mai ales, ale lui M.V. Lomonosov (1748), care pun bazele teoriei cinetico-moleculare a materiei. Pe baza structurii atomice a corpurilor, Lomonosov a explicat elasticitatea corpurilor, căldura și alte fenomene.

La începutul secolului al XIX-lea se descoperă legile combinațiilor chimice. Legea proporțiilor multiple a lui Dalton este o dovadă experimentală despre existența atomilor și moleculelor. Dacă se admite că substanțele sînt compuse din molecule și atomi indivizibili, atunci legile combinațiilor chimice devin foarte simple și clare. Totuși, structura atomică a materiei a fost stabilită în mod definitiv abia după ce s-au descoperit fenomenele radioactive și Jean Perrin a făcut (1908) celebrele experiențe, prin care a dovedit existența moleculelor. Știința actuală consideră molecula ca o realitate fizică.

Molecula este particula cea mai mică dintr-o substanță, care mai păstrează proprietățile chimice ale substanței din care provine.

Atomul este cea mai mică particulă dintr-o substanță simplă care intră în alcătuirea unei molecule de substanță

Scanned with OKEN Scanner

compusă. Proprietatea substanțelor de a se putea divide, difuziunea substanțelor și mișcarea browniană sînt cele mai simple dovezi despre existența moleculelor.

49. **Difuziunea.** E x p e r i e n ț ă. Se umple cu hipoazotidă (NO_2) (un gaz roșcat, mai dens decît aerul) un cilindru de sticlă, pe care îl acoperim cu un geam. Așezăm deasupra, cu gura în jos, pe primul cilindru, un al doilea cilindru de sticlă, de același diametru, plin cu aer. Scoatem geamul care separă conținuturile celor doi cilindri așezați unul peste altul, trăgîndu-l ușor într-o parte. Nu după multă vreme, constatăm că ambii cilindri au conținutul roșcat. Deci, în ambii cilindri se găsește un amestec omogen de aer și hipoazotidă. Gazul de jos, deși mai dens decît aerul, s-a ridicat și s-a împrăștiat în cilindrul de deasupra. Ce dovedește această experiență? Că moleculele de gaz *sînt în mișcare* și de aceea se pot împrăștia unele printre altele, chiar împotriva gravitației. *Împrăștierea treptată a moleculelor unui corp printre moleculele altui corp se numește difuziune.*

Acest fenomen se observă și la lichide, ba chiar și la solide. Într-un cilindru de sticlă se pune o soluție de $CuSO_4$, care este albastră, iar deasupra se toarnă cu grijă, prin prelingere pe peretele vasului, un strat gros de apă, așa fel ca cele două lichide să nu se amestece și să aibă o suprafață de separare. După cîteva ore se observă vine albăstrii care s-au infiltrat în stratul de apă, cu toate că cilindrul a stat nemișcat. În mișcarea lor, moleculele de lichid difuzează, ca și cele de gaz, deși mai încet.

Se așază unul peste altul doi cilindri metalici de cîțiva centimetri înălțime, avînd bazele plane și bine lustruite. Prin încălzire la o temperatură sub punctul lor de topire, se constată, după mai mult timp, că cele două metale diferite s-au sudat fără să se topească, formînd un aliaj în părțile puse în contact. Prin urmare, și moleculele solidelor difuzează, adică moleculele lor sînt în mișcare. Experiența arată că prin încălzire difuziunea substanțelor se face mai repede. Aceasta dovedește că prin încălzire mișcarea moleculelor devine mai intensă. Așadar *viteza moleculelor crește o dată cu temperatura corpurilor.*

50. **Mișcarea browniană.** Observînd la microscop firișoare de polen în apă, botanistul Brown (1827) a constatat că ele se găsesc într-o mișcare dezordonată. Fiecare firișor de polen se mișcă în direcții care se schimbă în fiecare moment,

Scanned with OKEN Scanner

neregulat și independent de firișoarele vecine. El a crezut că a descoperit manifestarea unor forțe „vitale", cum se credea pe atunci. În realitate, această mișcare este efectul mișcării moleculelor de apă, care ciocnesc firișoarele de polen, și le fac să execute aceste mișcări dezordonate. Se poate face ușor această experiență cu orice corp în stare de pulverizare fină: sticlă pisată, tuș, sulf coloidal, argint coloidal, carmin etc. Deci nu poate fi vorba de o forță specială, ci de o proprietate generală a moleculelor corpurilor. Urmărind cu atenție la microscop o singură particulă, observăm că ea se agită în toate direcțiile, parcurgînd un drum în zigzag, foarte încurcat (fig. 68), fără a avea o direcție comună de mișcare cu celelalte particule vecine. Oricît am aștepta, această mișcare nu încetează, ceea ce dovedește că nu este produsă de vreo cauză locală de dezechilibru mecanic. Nu este nici efectul unor curenți care s-ar produce prin lichid, căci atunci particulele în suspensie ar avea o direcție comună de mișcare, pe cînd ele se mișcă dezordonat și independent unele de altele.

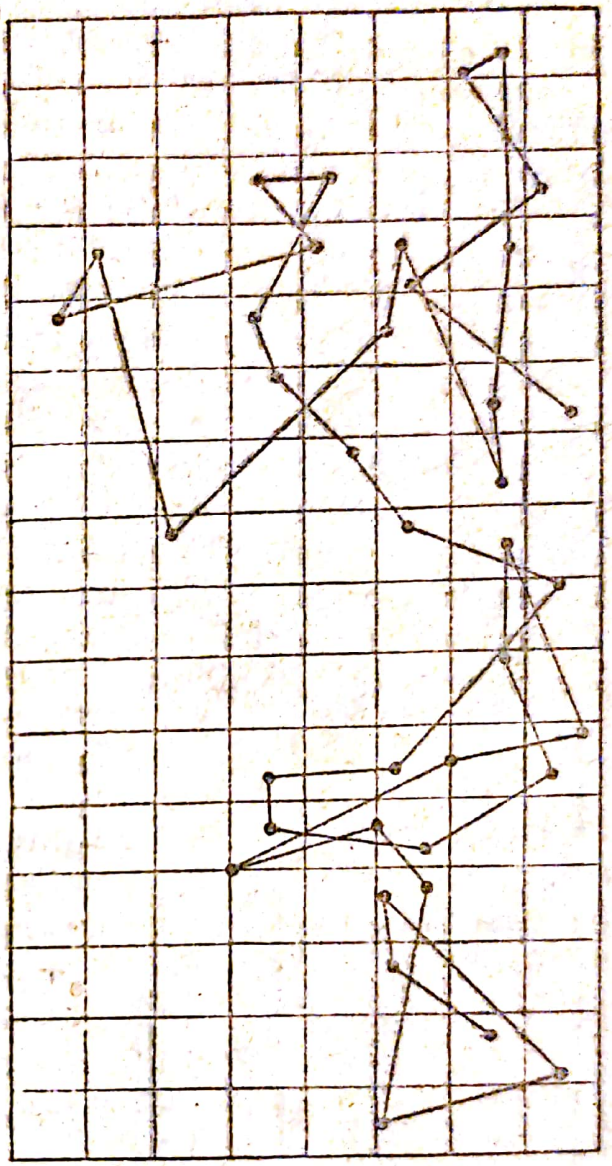

Fig. 68. — Mișcarea browniană.

Care este atunci cauza mișcării browniene, *adică a mișcării particulelor foarte mici* (1—100 mμ), *aflate în suspensie în apă*? Moleculele de apă se găsesc în mișcare dezordonată. Ele ciocnesc micile particule din cele mai variate direcții și le transmit impulsuri, care le pun în mișcare. Prin urmare, mișcarea browniană face **dovada existenței moleculelor și a mișcării lor dezordonate.**

Scanned with OKEN Scanner

Mișcarea browniană nu este o mișcare accidentală, ci este o mișcare naturală, efect al mișcării moleculare. Mișcarea moleculară se numește **agitație termică**, deoarece **vitezele moleculelor cresc cînd temperatura crește.** Astfel mișcarea browniană a particulelor în suspensie este mai energică atunci cînd temperatura este mai ridicată și mai lentă cînd temperatura este mai coborîtă.

Supunînd mișcarea browniană unei cercetări experimentale amănunțite, Jean Perrin a reușit să stabilească legile ei, cu ajutorul cărora a determinat dimensiunile moleculelor și numărul moleculelor dintr-un mol de orice substanță, adică numărul lui Avogadro ($N = 6{,}02 \cdot 10^{23}$). Mișcarea moleculară este naturală, dezordonată, permanentă și depinde numai de temperatură.

Mișcarea moleculară de gaz zicem că este **dezordonată, deoarece moleculele nu au direcție comună de mișcare.**

51. **Teoria cinetico-moleculară.** Să considerăm un vas în care se găsește un gaz (fig. 69). El ocupă un anumit volum V, are o anumită presiune p și o anumită temperatură t. Aceste mărimi p, V și t, de care depinde starea unui gaz, se numesc *parametri de stare*. Deoarece nici unul din acești parametri (p, V, t) nu variază, spunem că gazul este în echilibru din punct de vedere macroscopic, adică așa cum observăm noi în mare lucrurile din jurul nostru.

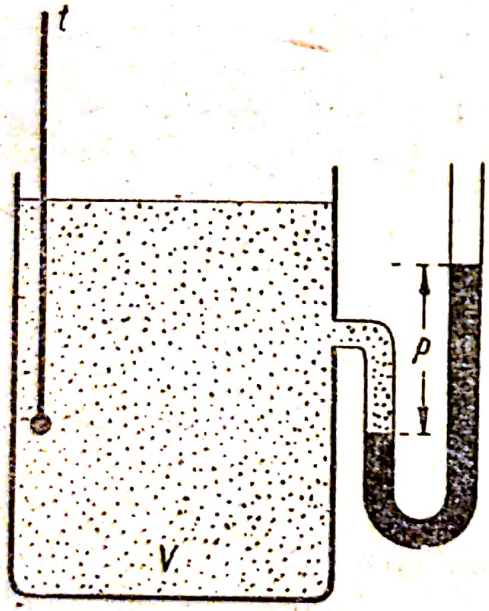

Fig. 69. — Un recipient cu un gaz.

Dacă însă observăm acest gaz la scară moleculară, existența mișcării browniene dovedește că moleculele lui se găsesc într-o mișcare dezordonată: fiecare moleculă își schimbă mereu starea de mișcare, prin ciocnirile dintre ea și celelalte molecule, precum și dintre acestea și pereții vasului. *Teoria cinetică moleculară este o teorie* **care explică proprietățile gazelor cu ajutorul mișcării moleculelor și atomilor care le compun.** Ea este o teorie fizică, deoarece explică un mare număr de fenomene, cum sînt: presiunea, temperatura, căldura, dilatarea, schimbarea stărilor de agregare, elas-

Scanned with OKEN Scanner

ticitatea, capilaritatea etc., care la prima vedere par că nu ar avea legături între ele.

Pentru a explica modul cum se comportă gazele, teoria cinetică *pornește de la existența moleculelor* și atomilor, pe care, pentru simplificarea lucrurilor, le consideră ca **particule sferice, perfect elastice, aflate în continuă mișcare dezordonată și care se ciocnesc elastic** între ele după legile mecanicii, precum și cu pereții vasului. Presiunea gazului este efectul ciocnirii dintre moleculele gazului cu pereții vasului în care se găsește, cum a arătat D. Bernoulli (1738). Pe baza teoriei cinetice, M.V. Lomonosov a explicat proprietățile calorice ale corpurilor, considerînd căldura ca o energie a mișcării moleculelor.

Între două ciocniri consecutive, o moleculă parcurge un drum rectiliniu, cu viteză constantă. Acest drum se numește *drum liber* și are valori deosebite de la moleculă la moleculă și de la o ciocnire la alta.

Din cauza numărului uriaș de molecule care se ciocnesc într-un volum de gaz, se poate calcula o viteză medie a moleculelor. Deși ciocnirile moleculelor de pereții vasului variază necontenit, totuși valoarea presiunii rămîne constantă, fiindcă abateri de la valoarea medie a presiunii sînt practic irealizabile, numărul moleculelor fiind extrem de mare.

Iată cîteva valori ale vitezelor medii moleculare v_m la temperatura de 0°C, exprimate în metri pe secundă:

gazul	v_m
H_2	1 693
O_2	425
N_2	454
CO_2	362

52. **Mișcarea moleculelor și presiunea.** În mișcarea lor dezordonată, moleculele unui gaz se ciocnesc între ele, precum și de pereții vasului în care se găsește gazul. Am presupus mai înainte că ciocnirile moleculare se fac în mod elastic. Dacă o moleculă ciocnește un perete AB (fig. 70), transmite acestui perete un impuls și exercită asupra lui o apăsare. După cum o minge perfect elastică care lovește un perete este reflectată cu o viteză egală și opusă

Scanned with OKEN Scanner

aceleia cu care a lovit peretele, tot așa molecula va fi întoarsă înapoi de către perete cu o viteză egală și opusă vitezei inițiale.

Dacă ne gîndim că orice perete este lovit în fiecare moment de un număr imens de molecule, ne dăm seama ușor că ciocnirile moleculelor de pereții vasului produc o presiune asupra pereților. Prin urmare, *presiunea* exercitată de un gaz asupra pereților vasului în care se găsește gazul *este efectul ciocnirii moleculelor cu pereții vasului.*

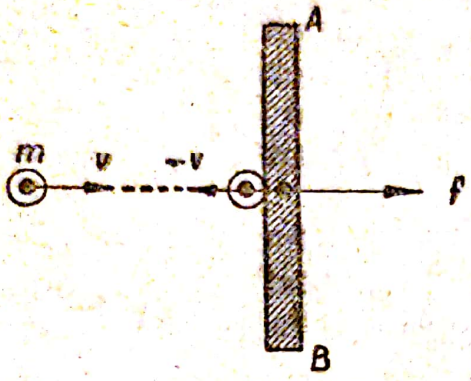

Fig. 70. — Ciocnirea unei molecule de un perete.

53. **Mișcarea moleculelor și temperatura.** La studiul difuziunii am constatat că acest fenomen se produce cu o viteză mai mare cînd temperatura crește. De asemenea, agitația particulelor în mișcarea browniană devine mai intensă cînd temperatura crește. Aceste fapte ne dovedesc că *viteza moleculelor unui corp crește o dată cu temperatura.*

Ca să întărim această concluzie, să presupunem un vas care conține o masă de gaz. Dacă gazul este încălzit, experiența arată că și presiunea gazului crește. Aceasta înseamnă că și impulsul transmis de molecule pereților prin ciocnire crește.

Deoarece masa moleculelor nu poate varia prin încălzire, urmează că sporirea de impuls a moleculelor rezultă din creșterea vitezei. Așadar, *prin încălzirea unui gaz, viteza medie a moleculelor lui crește.*

Prin răcirea gazului, viteza medie a moleculelor scade. La o temperatură foarte joasă, viteza mișcării moleculare devine nulă și mișcarea de translație dezordonată a moleculelor încetează. Temperatura la care viteza moleculară devine zero se numește **zero absolut.** Valoarea acestei temperaturi a fost calculată și este de — 273,15°C. La zero absolut încetează numai mișcarea moleculară, dar nu și mișcarea din interiorul moleculelor și al atomilor. Teoria cinetică arată deci că **temperatura unui corp este o măsură pentru viteza medie a moleculelor acelui corp, aflate în mișcare dezordonată.**

54. **Forțe intermoleculare.** a. În gaze. Între molecule se exercită forțe de atracție și respingere, care scad foarte repede cu distanța. Ele se numesc *forțe intermoleculare.* Forțele exercitate de o moleculă se limitează la o regiune

sferică foarte mică, numită *sferă de acțiune moleculară*. Din cele studiate mai înainte rezultă că moleculele gazelor sînt relativ rare, adică distanța medie dintre ele este mai mare decît raza sferei de acțiune moleculară. Din această cauză, între molecule nu se exercită forțe de atracție și gazele nu au coeziune. Asemenea gaze se numesc **gaze perfecte**. Moleculele gazelor au mișcări de translație dezordonată. Cînd însă gazul se găsește la presiuni mai mari, moleculele lui sînt mai apropiate unele de altele și se manifestă forțele de coeziune, care nu mai pot fi neglijate. Gazele aflate în astfel de condiții se numesc **gaze reale**.

Cînd între moleculele unui corp se exercită forțe de atracție sau de repulsie, atunci moleculele lui au și energie potențială, pe lîngă energie cinetică. Energia totală (cinetică și potențială) conținută în interiorul unui corp, datorită mișcării moleculelor și structurii lui, se numește *energie internă a corpului*.

b. În l i c h i d e. Moleculele lichidelor sînt foarte apropiate una de alta, de aceea între ele se exercită forțe de atracție mari, încît lichidele posedă coeziune. Din această cauză, difuziunea lichidelor se face mai încet decît difuziunea gazelor. Moleculele de lichid exercită oscilații în jurul unor poziții de echilibru. Din cînd în cînd însă molecula își schimbă poziția de echilibru, deplasîndu-se cu o distanță de ordinul de mărime al dimensiunilor moleculare. Din cauza acestor mici translații ale moleculelor, lichidele nu au o formă proprie, ca solidele; datorită existenței forțelor de coeziune, lichidele au volum propriu, ca și solidele, și prezintă o suprafață liberă. Moleculele fiind foarte apropiate, lichidele sînt foarte puțin compresibile, deoarece, atunci cînd distanța dintre 2 molecule coboară sub o anumită valoare, apar forțe mari de respingere.

c. În s o l i d e. Moleculele solidelor sînt și mai apropiate unele de altele decît în lichide. Forțele de coeziune sînt foarte mari. Moleculele pot executa numai mișcări de oscilație în jurul unor poziții de echilibru fixe. Aceste oscilații au amplitudinea foarte mică, depinzînd de temperatura corpului. La temperatura camerei, amplitudinile de oscilație ajung la 0,1—0,2Å. Forțele intermoleculare în solide sînt foarte mari și se manifestă prin proprietățile elastice ale corpului.

Concluzii. Legile combinațiilor chimice confirmă *existența* **moleculelor și atomilor.**

Scanned with OKEN Scanner

Difuziunea pune în evidență **existența și mișcarea** moleculelor și atomilor, precum și faptul că *viteza moleculelor variază în același sens cu temperatura.*

Mișcarea browniană demonstrează că moleculele se găsesc în **mișcare dezordonată**, iar *viteza lor medie variază cu temperatura.*

Mișcarea moleculară este dezordonată, deoarece *moleculele sînt foarte numeroase și nu au direcție comună de mișcare.*

Teoria cinetică explică proprietățile corpurilor prin mișcarea moleculelor și atomilor lor.

Teoria cinetică presupune că moleculele unui gaz sînt sfere perfect elastice, care se ciocnesc între ele, precum și de pereții vasului în care se găsesc. Prin ciocnire viteza fiecărei molecule variază. Viteza medie a tuturor moleculelor rămîne însă neschimbată, dacă temperatura gazului nu variază. Aceasta este o consecință a legii conservării energiei și arată că viteza unor molecule crește pe seama vitezei altor molecule, a căror viteză scade în aceeași proporție.

Temperatura unui corp este o măsură pentru viteza medie a moleculelor acelui corp, aflate în mișcare dezordonată.

Presiunea unui gaz *rezultă din ciocnirea moleculelor gazului cu pereții vasului* în care se află gazul.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege prin atomism?
2. Care sînt dovezile experimentale despre existența atomilor și moleculelor?
3. Ce este și cum se realizează difuziunea?
4. De cine depinde viteza de difuziune? De ce?
5. În ce constă mișcarea browniană? Ce dovedește ea?
6. Prin ce se caracterizează mișcarea dezordonată?
7. O singură moleculă poate avea mișcare dezordonată? De ce?
8. Temperatura corpurilor poate crește ori coborî oricît de mult? De ce?
9. Ce se înțelege prin zero absolut?
10. Ce este teoria cinetică?
11. Să se compare gazul perfect cu gazele reale.
12. Cum se explică presiunea unui gaz pe baza teoriei cinetice?
13. Ce reprezintă temperatura din punct de vedere cinetic?

Scanned with OKEN Scanner

PROBLEME

Într-un volum de gaz există:

1 000	molecule	cu	viteza	de	aproximativ	100 m/s
5 000	„	„	„	„	„	200 m/s
20 000	„	„	„	„	„	300 m/s
4 000	„	„	„	„	„	400 m/s
1 000	„	„	„	„	„	500 m/s
500	„	„	„	„	„	600 m/s

Să se calculeze viteza aritmetică. Să se reprezinte grafic repartiția vitezelor pe număr de molecule (se va lua v pe abscisă și n pe ordonată).

Răspuns: 301,5 m/s

MĂSURAREA CANTITĂȚII DE CĂLDURĂ ȘI RELAȚIA DINTRE CANTITATEA DE CĂLDURĂ ȘI LUCRUL MECANIC

CANTITATEA DE CĂLDURĂ ȘI MĂSURAREA EI

55. **Cantitatea de căldură.** Din teoria cinetico-moleculară se știe că moleculele oricărui corp se află într-o necontenită mișcare dezordonată. Datorită acestei mișcări, fiecare moleculă posedă o energie cinetică. Pe de altă parte, se știe că între moleculele corpului se exercită forțe de coeziune. Aceste forțe sînt foarte slabe la gazele reale, mai puternice la lichide și foarte puternice la solide. Datorită acestor forțe de coeziune, moleculele posedă și o energie potențială, care depinde de poziția reciprocă a moleculelor. Deci, orice corp are *energie internă, care este constituită din energia cinetică de mișcare a moleculelor lui și din energie potențială, datorită forțelor de interacțiune dintre molecule.*

Energia internă a unui corp poate să varieze. De exemplu, cînd un corp trece dintr-o stare de agregare într-alta, poziția reciprocă a moleculelor lui variază, deci variază și energia potențială care este o parte a energiei lui interne. În alte condiții poate varia energia cinetică a moleculelor. De exemplu, dacă temperatura unui corp crește, viteza moleculelor crește de asemenea, și o dată cu ea crește și energia cinetică a moleculelor. Deci, energia internă a unui corp nu este o cantitate constantă.

De exemplu, dacă un gaz se destinde producînd un lucru mecanic, energia sa internă scade. Valoarea lucrului mecanic efectuat poate folosi ca mijloc de măsurare a cantității cu care a variat energia internă, dacă gazul nu cedează căldură mediului înconjurător.

Scanned with OKEN Scanner

Dar energia internă mai poate varia și în alt mod. De exemplu, așezăm pe un suport de fier o mașină de călcat fierbinte. După un timp, suportul se încălzește, iar mașina de călcat se răcește. Energia internă a moleculelor suportului crește, iar a mașinii de călcat scade. În acest caz, energia internă a unui corp este cedată altui corp. Această cedare de energie internă se numește *transmisia căldurii*. Se produce o transmisie de căldură de la un corp la altul, fie prin contactul lor direct (mașina de călcat pusă pe suport), fie cînd corpurile sînt depărtate unul de altul (încălzirea unui scaun aflat în vecinătatea sobei).

Încălzirea unui corp arată o creștere a energiei lui interne; corpul capătă o cantitate de energie cinetică ce i se transmite dinafară. Răcirea unui corp dovedește o scădere a energiei lui interne, deoarece corpul transmite în exterior o parte din energia sa internă.

Cantitatea de energie cinetică cu care crește sau scade energia internă a unui corp în procesul de transmisie a căldurii se mai numește și cantitate de căldură. Prin urmare, cantitatea de căldură nu este o substanță, cum se credea înainte vreme. Ea se datorește mișcării dezordonate a moleculelor.

56. **Unitatea de cantitate de căldură.** Ca orice mărime fizică, și cantitatea de căldură poate fi măsurată. Cantitatea de căldură, fiind de fapt energie, se măsoară în unități de energie, adică în jouli (sistemul MKS). În practică se folosește ca unitate de măsură caloria (cal). Această unitate a fost introdusă pe vremea cînd nu se cunoștea natura fizică a cantității de căldură. Caloria trebuie să fie treptat înlocuită prin joule, ea fiind numai o unitate tolerată temporar.

Caloria este cantitatea de căldură care trebuie transmisă unui gram de apă distilată pentru a-i mări temperatura cu un grad, de la 19,5°C la 20,5°C.

Un multiplu al caloriei este kilocaloria, egală cu 1 000 de calorii. Ea este egală cu cantitatea de căldură care trebuie transmisă unui kilogram de apă distilată pentru a-i mări temperatura cu 1°C.

57. **Formula cantității de căldură.** Pentru a putea calcula cantitatea de căldură Q absorbită de un corp care se încălzește (sau aceea cedată de un corp care se răcește) s-a stabilit o relație între aceasta, pe de o parte, și între masa m a corpului supus încălzirii (sau răcirii) și variația de temperatură, pe de altă parte.

Scanned with OKEN Scanner

S-a găsit experimental că o masă m dintr-o substanță care se încălzește de la o temperatură t_0 la temperatura t absoarbe o cantitate de căldură Q, care este proporțională cu masa și cu diferența de temperatură:

$$Q \sim m(t - t_0).$$

58. **Căldura specifică a unei substanțe.** Tot experiența arată că, pentru a ridica temperatura cu același număr de grade la diferite corpuri care au mase egale, dar sînt făcute din substanțe diferite, sînt necesare cantități de căldură diferite. Astfel, de exemplu, pentru a încălzi 1 kg de apă cu 5°C sînt necesare 5 000 cal, în timp ce, pentru a încălzi 1 kg de plumb, tot cu 5°C, sînt necesare numai 155 cal. Rezultă de aici că, pentru a încălzi 1 g de apă cu 1°C, va fi nevoie de o cantitate de căldură de 1 cal, în timp ce, pentru a încălzi 1 g de Pb cu 1°C este nevoie de numai 0,031 cal.

Cantitatea de căldură care trebuie transmisă unui gram dintr-un corp pentru a-i ridica temperatura cu 1°C se numește căldură specifică. Ea se notează cu litera c și se exprimă în calorii pe gram și pe grad (cal/g·grad). Căldura specifică a apei este, după cum rezultă din cele spuse înainte, $c = 1$ cal/g·grad.

Dacă se cunoaște căldura specifică a unui corp de masă m, se poate calcula cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi acel corp cu un anumit număr de grade Δt°C. Într-adevăr, pentru a încălzi cele m grame cu 1°C, trebuie o cantitate de căldură de m ori mai mare decît căldura specifică, iar pentru a le încălzi cu Δt°C, cantitatea de căldură necesară va fi de încă Δt ori mai mare. Dacă notăm cu c căldura specifică a corpului, rezultă din cele spuse că:

$$\boxed{Q = c \cdot m \cdot \Delta t,} \qquad (23)$$

deci *cantitatea de căldură primită de un corp este egală cu produsul dintre căldura specifică, masa corpului și variația de temperatură pe care o suferă el.*

Dintre corpurile solide și lichide, apa are cea mai mare căldură specifică și acest fapt explică deosebirea dintre climatul marin și cel continental. Apa mărilor și oceanelor se încălzește și se răcește mai greu, avînd nevoie de căldură mai multă. În mijlocul continentelor, pămîntul avînd căldură specifică mai mică se încălzește și se răcește ușor,

Scanned with OKEN Scanner

producînd variații mari de temperatură între vară și iarnă, între zi și noapte.

Gheața are căldura specifică de 0,502 cal/g·grad, adică jumătate decît a apei. În general, substanțele în stare lichidă au căldura specifică mai mare decît în stare solidă.

Căldura specifică a gazelor este în general mai mică decît a lichidelor.

59. **Capacitatea calorică.** Să calculăm *cantitatea de căldură pe care trebuie să o transmitem unui corp cu masa m, pentru a-i ridica temperatura cu* 1°C.

$$Q = m \cdot c.$$

Această cantitate de căldură (produsul *mc*) se numește *capacitatea calorică a corpului*. Ea este numeric egală cu cantitatea de apă m_1, care are nevoie de aceeași cantitate de căldură *mc* ca și corpul, pentru a suferi aceeași variație de temperatură. De exemplu, 60 g dintr-un corp cu căldura specifică 0,3 $\frac{\text{cal}}{\text{g·grad}}$ absorb 18 calorii ca să se încălzească cu 1°C. O masă de apă în valoare de 60·0,3 = 18 g absoarbe tot 18 calorii ca să se încălzească cu 1°C. De aceea, produsul *mc* se mai numește *echivalentul în apă al corpului*.

60. **Principiile calorimetrice.** Măsurarea unei cantități de căldură se face cu ajutorul calorimetrului. Măsurătorile calorimetrice se fac pe baza a două principii:

a. Cantitatea de căldură absorbită de un corp pentru a se încălzi cu un număr de grade este egală cu cantitatea de căldură pe care același corp ar ceda-o cînd s-ar răci cu același număr de grade.

Adică formula $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ măsoară în același timp căldura absorbită de corp și căldura cedată de corp. În al doilea caz, $\Delta t°$ este o variație de la o temperatură mai ridicată la una mai coborîtă.

b. Principiul amestecurilor. Se amestecă 1 kg de apă la 80°C cu 1 kg de apă la 20°C. Se obțin 2 kg de apă la 50°C. Apa mai caldă a cedat 1·(80—50)=30 kcal. Apa mai rece a absorbit 1·(50—20)=30 kcal.

Se amestecă 2 kg de apă la 80°C cu 1 kg de apă la 20°C. Se obțin 3 kg de apă la 60°C. Apa mai caldă a cedat 2·(80 — 60) = 40 kcal. Apa mai rece a absorbit 1·(60—20)= = 40 kcal.

Rezultă că: *dacă se amestecă mai multe corpuri cu temperaturi diferite*, **corpurile mai calde se răcesc, cedînd o cantitate de căldură Q_{ced}, iar corpurile mai reci se încălzesc, absorbind o cantitate de căldură Q_{abs}, pînă cînd se stabilește echilibrul termic, adică toate corpurile ajung la aceeași temperatură.**

Acesta este principiul amestecurilor.

Dacă corpurile sînt izolate termic de exterior, adică nu pot transmite căldura decît de la unul la altul, nu și în afară, atunci legea conservării energiei arată că:

$$Q_{ced} = Q_{abs} \qquad (24)$$

Această egalitate reprezintă **ecuația calorimetrică.**

61. **Calorimetrul.** *Determinarea căldurii specifice a corpurilor solide și lichide.* Calorimetrul este un vas cilindric lucios pe pereții exteriori, pentru a reflecta razele de căldură. Pentru a împiedica pierderea căldurii, calorimetrul este așezat pe suporturi de lemn sau de plută, în interiorul unui alt vas metalic (fig. 71). Stratul de aer dintre cele două vase este izolator termic, deci putem socoti corpurile introduse în calorimetru ca fiind izolate termic în exterior. În vasul calorimetric se pune o cantitate oarecare de apă și un termometru sensibil (care măsoară și fracțiuni de grade), precum și un agitator. Se introduce în vasul cu apă un corp mai cald, care se va răci, cedînd o parte din căldura sa apei, vasului calorimetric, termometrului și agitatorului care se vor încălzi.

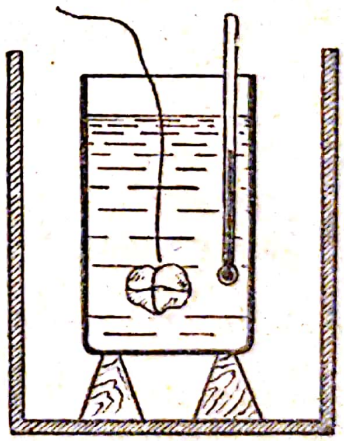

Fig. 71. — Calorimetru.

Pentru a determina căldura specifică a unui corp solid, se măsoară prin cîntărire masa m a acelui corp. Se introduce apoi corpul într-un vas cu apă care fierbe ($t = 100°C$) și se lasă să stea vreo 10 minute, pentru a căpăta și el temperatura apei. În acest timp se cîntărește vasul calorimetric m_1 și o cantitate de apă m_2, care se introduce în el. Se citește temperatura $t°_1$ a apei din calorimetru, la termometrul introdus în apă; vasul calorimetric are aceeași temperatură. În apa din vasul calorimetric se introduce repede, pentru a nu se pierde căldura, corpul încălzit la 100°C, a cărui

căldură specifică este necunoscută. Se agită ușor apa din calorimetru pînă cînd temperatura amestecului rămîne constantă. Fie θ°C temperatura finală. Cunoscînd natura metalului din care este construit calorimetrul, se ia căldura lui specifică c_1 din tabele. Dacă nu se fac măsurători de precizie, se poate neglija căldura absorbită de termometru și de agitator.

Pe măsură ce se fac cîntăririle și citirea temperaturilor, valorile aflate se trec într-o tabelă ca cea de mai jos.

Vasul calorimetric	Apa	Corpul
m_1	m_2	m
c_1	$c_2 = 1$	$c = ?$
$t°_1$	$t°_2$	$t°$

Temperatura finală θ°C

Corpul, fiind mai cald, a cedat o cantitate de căldură Q, iar apa și vasul calorimetric, fiind mai reci, au absorbit cantitățile de căldură Q_1, respectiv Q_2. Presupunînd că nu s-a pierdut căldura în exterior și neglijînd căldura luată de termometru și agitator, se poate aplica ecuația calorimetrică și se obține:

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Înlocuind pe Q, Q_1 și Q_2 cu valorile lor date de formula (23), se obține:

$$mc(t - \theta) = m_1c_1(\theta - t_1) + m_2(\theta - t_1) = (m_1c_1 + m_2)(\theta - t_1),$$

de unde se poate scoate valoarea căldurii specifice căutate:

$$c = \frac{(m_1c_1 + m_2)(\theta - t_1)}{m(t - \theta)}.$$

Acest procedeu experimental se numește *metoda amestecurilor.*

În tabela următoare se dă căldura specifică a cîtorva substanțe.

Scanned with OKEN Scanner

Substanța	Căldura specifică cal/g·grad	Substanța	Căldura specifică cal/g·grad
platină	0,028	nichel	0,106
plumb	0,031	fontă	0,18
mercur	0,033	fier	0,12
staniu	0,055	fier forjat	0,17
argint	0,056	aluminiu	0,214
alamă	0,092	gheață	0,50
zinc	0,091	acetonă	0,52
cupru	0,094	glicerină	0,58
constantan	0,098	aer	0,24

Căldura specifică a corpurilor lichide care nu dau combinații chimice cu apa se determină cu același calorimetru, procedîndu-se în același fel ca și cu solidele. Se încălzește lichidul într-un vas la o temperatură superioară apei din calorimetru și apoi se toarnă în apa din calorimetru. Se trec valorile aflate prin cîntărirea și prin citirea temperaturilor într-un tabel asemănător cu cel de mai sus. Se aplică ecuația calorimetrică și se calculează căldura specifică a lichidului.

62. **Izvoare de căldură. Combustibili.** În viața de toate zilele, energia calorică are o deosebită importanță, deoarece servește la prepararea hranei, la încălzitul locuințelor, în metalurgie, la obținerea metalelor, la funcționarea mașinilor etc. Corpurile care furnizează energie calorică se numesc izvoare de căldură.

Cel mai important izvor natural de energie calorică este Soarele, care de altfel este cauza tuturor izvoarelor secundare de energie de pe Pămînt; energia calorică a mărilor, energia hidraulică, energia eoliană, energia chimică acumulată în combustibili — toate provin de la energia primită de la Soare.

Energia solară poate servi de asemenea și ca „materie primă" în producerea industrială a curentului electric. Astfel în Armenia Sovietică s-a construit o heliocentrală care utilizează oglinzi uriașe. Apa încălzită la 400°C alimentează o turbină cu aburi cuplată cu un generator electric.

De miliarde de ani Soarele emite cantități enorme de căldură și lumină, datorită reacțiilor nucleare care se

Scanned with OKEN Scanner

produc în interiorul său. La suprafața sa, Soarele are o temperatură de circa 6 000°C, iar în interiorul său temperatura atinge aproximativ 20 000 000°C. În fiecare an Pământul primește de la Soare o cantitate de $1{,}34 \cdot 10^{21}$ kcal, adică 1 340 miliarde de miliarde de kilocalorii.

Iradierea suprafeței Pământului de către Soare este denumită constantă solară. Valoarea acesteia calculată la limita atmosferei este de 0,15 $\frac{W}{cm^2}$ sau aproximativ 2 cal/min·cm² (absorbția atmosferică reduce această valoare aproape la jumătate).

Căldura solară face ca apa rîurilor, lacurilor și mărilor să se evapore și să cadă apoi sub formă de ploi, care dau naștere la ape curgătoare. Prin urmare, căldura solară face să crească energia potențială a apelor, care este apoi utilizată la mașinile hidraulice. Prin încălzirea neuniformă a globului pămîntesc se nasc curenți de aer, care se numesc vînturi. Ca și energia potențială a apelor, energia cinetică a vînturilor este folosită pentru a mișca morile de vînt și motoarele eoliene.

Dar cea mai întrebuințată energie calorică este aceea obținută prin arderea combustibililor, care pot fi:

— solizi, cum sînt: antracitul, huila, lignitul, turba, lemnul etc.;

— lichizi, cum sînt: petrolul și derivatele lui;

— gazoși, cum sînt: gazele naturale, metanul, gazul de sondă, gazul de furnal etc.

Dar și energia acestor combustibili provine tot din energia solară, care este izvorul vieții pe Pământ. Combustibilii naturali au luat naștere în general prin putrezirea lentă sub presiune a viețuitoarelor sau prin carbonizarea plantelor care au trăit acum cîteva milioane de ani. Prin asimilația clorofiliană, plantele înglobează carbonul în corpul lor sub formă de compuși organici. Asimilația clorofiliană, fiind o reacție endotermă, adică o reacție care se produce absorbind energie din exterior, se face cu absorbția unei mari cantități de energie solară, care este astfel înmagazinată în corpul plantelor și apoi al animalelor care se hrănesc cu aceste plante. Combustibilul, cînd arde, eliberează printr-o reacție chimică energia solară acumulată

Scanned with OKEN Scanner

de el cu mii și milioane de ani mai înainte. Alături de energia solară există și izvoare artificiale de energie, create de om, izvoare care dezvoltă *energia internă* a corpurilor, conținută în orice substanță sub diferite forme, ca energia nucleară și energia chimică. Prin transmutări ale nucleelor, fizica și tehnica actuală au reușit să elibereze energia nucleară, care face posibilă utilizarea ei în scopuri pașnice. Țările imperialiste vor să folosească energia nucleară ca armă de distrugere, amenințînd prin aceasta pacea lumii. Uniunea Sovietică luptă consecvent pentru interzicerea armelor nucleare. Savanții sovietici au realizări uriașe în domeniul folosirii energiei nucleare în scopuri pașnice. Astfel, prima centrală atomoelectrică din lume a fost pusă în funcțiune în Uniunea Sovietică. Tot aici a fost construit spărgătorul de gheață atomic „V.I. Lenin" ș.a.

Formidabila energie radiată continuu de Soare în spațiu provine tocmai din reacțiile nucleare care se produc în interiorul lui, unde temperatura este de milioane de grade, iar presiunea atinge valori neînchipuit de mari.

Energia dezvoltată în reacțiile chimice este de asemenea o sursă importantă de căldură. Astfel prin combinarea chimică a H_2 cu F_2, se obține o temperatură de 4 000°C; combinarea Al cu diferiți oxizi degajă o mare cantitate de căldură, care ridică temperatura la 2 500—3 000°C, folosită în metalurgie.

Alte izvoare artificiale de căldură sînt acelea care produc energie calorică prin trecerea curentului electric printr-un conductor (reșou, radiator, arc electric).

63. **Puterea calorică a combustibililor.** Prin arderea unor mase egale din diferiți combustibili nu se obțin cantități egale de căldură. 1 kg de țiței dă o cantitate de căldură mai mare decît 1 kg de lemn, iar 1 kg de lemn de fag încălzește mai bine decît 1 kg de lemn de brad.

Se numește *putere calorică a unui combustibil cantitatea de căldură pe care o degajă* 1 kg *din acel combustibil prin arderea lui completă.* Valoarea unui combustibil depinde de puterea lui calorică. Puterea calorică a combustibililor gazoși se socotește pentru un metru cub de gaz măsurat în condiții normale de presiune și temperatură ($p = 760$ mm Hg și $t = 0$°C). Se notează prescurtat: m^3N adică metru cub normal.

Scanned with OKEN Scanner

Determinarea puterii calorice a unui combustibil se face cu ajutorul unui calorimetru special, numit *bombă calorimetrică* (fig. 72). Bomba calorimetrică este formată dintr-o cameră de ardere (un vas rezistent de oțel) *C*, căptușită pe partea interioară a pereților cu platină sau cu un smalț special. Într-un creuzet aflat în camera de ardere se pune o cantitate de combustibil și se umple camera de ardere cu oxigen. Combustibilul este aprins cu ajutorul unei scîntei electrice. Arderea se face instantaneu și complet, din cauza excesului de O_2. Cantitatea de căldură produsă se măsoară calorimetric, deoarece camera de ardere se găsește în interiorul unui calorimetru. (Din cantitatea totală de căldură aflată, se scade cantitatea de căldură produsă de scînteia electrică.)

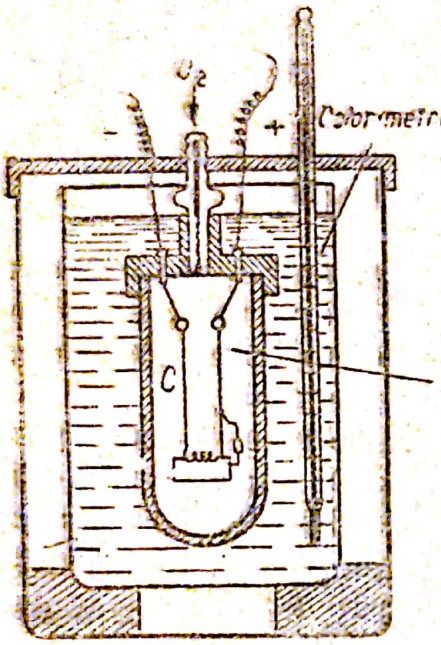

Fig. 72. — Bomba calorimetrică.

Iată un tabel cu puterile calorice ale combustibililor mai des folosiți, exprimate în kcal/kg:

lemn	3 000	antracit	7 500
turbă	3 500	țiței	10 500
lignit	5 000	benzină (petrol)	11 000
huilă	7 000		

În laboratoare se utilizează un combustibil gazos, lichefiat prin comprimare în butelii. Este obținut din părțile ușoare ale produselor de distilare ale petrolului, care în mod curent se numește aragaz. Puterea lui calorică este de 10 000—11 000 kcal/m³N. Conține circa 90% butan.

Dacă se notează puterea calorică a unui combustibil cu q, atunci cantitatea de căldură Q, produsă prin arderea unei mase m din acel combustibil, va fi:

$$\boxed{Q = mq.} \qquad (25)$$

Cu această formulă se poate calcula și cantitatea de căldură pe care o produce un aliment în organism. Cantitatea de căldură pe care o degajă unitatea de masă dintr-un aliment în timpul arderii lui în organism se numește *valoare energetică* a acelui aliment.

Scanned with OKEN Scanner

64. **Transmisia căldurii.** De la izvorul de căldură la corpul încălzit, căldura se poate transmite în trei feluri. Ea poate trece direct de la părţile mai calde la părţile mai reci, cînd acestea se află în contact; acest fel de transmisie se numeşte **conductibilitate**. De exemplu, încălzirea unei bare metalice aflată cu un capăt în foc se face prin conductibilitate. Prin fluide căldura se poate transmite prin curenţi sau **convecţie**. Producerea curenţilor de fluid se explică astfel: masele de fluid aflate în contact cu izvorul de căldură primesc căldură, se dilată şi devin mai puţin dense; de aceea ele se deplasează, transportînd cantitatea de căldură primită de la izvorul de căldură, ca, de exemplu, încălzirea apei în vase, a aerului din cameră etc. Al treilea mod de a transmite căldura este **radiaţia**. De la izvorul de căldură pornesc radiaţii numite calorice, care sînt invizibile şi se numesc infraroşii; ele se pot propaga şi prin vid. Fiind absorbite de corpuri, acestea se încălzesc cu căldura adusă de la izvorul termic. Pe această cale vine căldura de la Soare, de la sobă, de la un vas cu apă fierbinte etc.

65. **Randamentul termic.** Un corp receptor nu primeşte toată cantitatea de căldură produsă de izvor. De exemplu, cantitatea de căldură produsă prin arderea combustibilului în sobă nu serveşte integral la încălzirea camerei. O parte din această căldură iese pe coş o dată cu fumul şi cu curentul de gaze produs prin „tragerea" sobei, altă parte este radiată spre pereţii camerei din spatele sobei, care o transmit în exterior etc. Căldura produsă de un reşou nu este transmisă integral corpului încălzit. O parte din ea este radiată în spaţiul din jur, o altă parte este transmisă prin conductibilitate de picioarele reşoului la suportul pe care se găseşte etc. Raportul dintre *cantitatea de căldură utilizată de către receptor şi cantitatea de căldură produsă de izvorul de căldură pentru a încălzi receptorul se numeşte randament termic al sursei de căldură.*

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înţelege prin energia internă a unui corp?
2. Cum poate varia energia internă a corpurilor?
3. Care este definiţia cantităţii de căldură?
4. Care sînt unităţile de cantitate de căldură?
5. Care sînt factorii de care depinde cantitatea de căldură necesară încălzirii unui corp şi care este formula care exprimă relaţia dintre ei?
6. Ce este căldura specifică şi în ce unităţi se măsoară?

Scanned with OKEN Scanner

7. De ce se folosește apa la răcirea motoarelor?
8. Ce se înțelege prin capacitate calorică?
9. Care sînt principiile calorimetrice?
10. Cum se determină experimental căldura specifică a corpurilor solide sau lichide?
11. Care sînt izvoarele naturale și artificiale de căldură?
12. Care este și cum se determină puterea calorică a unui combustibil?

PROBLEME

1. O cărămidă de 4 kg a absorbit 12 kcal pentru a se încălzi de la 15°C la 30°C. Ce căldură specifică are? Dar capacitate calorică?

Răspuns: 0,2 $\frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grad}}$; 0,8 kcal.

2. O cameră de locuit este încălzită de o sobă cu randamentul de 30%. Dacă pentru încălzirea acestei camere timp de 24 de ore sînt necesare 24 000 kcal, să se calculeze cantitatea necesară de lemne cu puterea calorică de 3 200 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.

Răspuns: 25 kg.

3. Pentru o baie este nevoie de 320 l de apă la 36°C. Apa din cazanul de baie are 78°C, iar apa de la robinet are 8°C. Cîți litri de apă de fiecare fel trebuie amestecați ca să obținem apa necesară băii?

Răspuns: 192 l; 128 l.

4. Cu cîte grade se ridică temperatura a 200 l de apă încălziți prin arderea a 2 m³ N de aragaz cu puterea calorică de 10 000 kcal/m³ N, dacă încălzitorul are randamentul de 60%?

Răspuns: 60°C.

5. O bucată de fier forjat de 12,7 kg aflat la 900°C se aruncă în apă la 11°C. Care-i cantitatea minimă de apă necesară, dacă temperatura finală nu trebuie să depășească 55°C?

Răspuns: 29,27 kg.

6. Într-un calorimetru de alamă cu masa de 100 g, care conține 209,3 g de apă la temperatura de 20,5°C, s-au introdus 235,6 g de zinc aflate la 99,3°C. Care este căldura specifică a zincului, dacă temperatura finală în calorimetru este de 27,6°C?

Răspuns: 0,091 cal/g·grad.

7. Trebuie să se încălzească 21 tone de fontă de la 15°C la 1 165°C într-un cuptor cu randamentul termic de 15%. Ce cantitate de cărbuni cu puterea calorică de 7 000 kcal/kg este necesară?

Răspuns: 4,14 t.

PRIMUL PRINCIPIU AL TERMODINAMICII

66. **Transformarea lucrului mecanic în căldură.** Dezvoltarea mijloacelor de producție în secolul al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea a dus la folosirea forței aburului, la inventarea motoarelor termice. Perfecționarea

Scanned with OKEN Scanner

acestora impunea cunoașterea legăturii dintre căldură și lucru mecanic. În felul acesta s-au pus bazele unei noi științe, care studiază legile fenomenelor în care căldura se transformă în lucru mecanic și invers.

Această știință se numește *termodinamică*. Pînă la sfîrșitul secolului al XVIII-lea se credea că lucrul mecanic dispare fără urmă, iar cantitatea de căldură era socotită ca o substanță indestructibilă, fără greutate, numită *caloric*. Se credea pe atunci că un corp este mai cald sau mai rece, după cum conține o cantitate mai mare sau mai mică de caloric. Însă faptele experimentale contrazic o asemenea concepție. În adevăr, o bucată de metal, dacă este bătută cu ciocanul, strunjită, găurită, pilită, tăiată sau îndoită, se încălzește pînă la înroșire. Două bucăți de gheață se topesc cînd sînt frecate una de alta; din amnar sar scîntei cînd este lovit de cremene etc. Toate aceste fenomene nu pot fi explicate cu ajutorul caloricului indestructibil. Toate corpurile amintite mai sus sînt în contact și se încălzesc, fără a primi caloric de undeva. De unde provine atunci căldura care apare în aceste fenomene? Răspunsul era ușor de dat pe baza concepției cinetico-moleculare a lui Lomonosov și a fost dat de către Julius Robert Mayer (1842). În procesele de mai sus, căldura provine din energia mecanică.

Energia cinetică a mișcării ordonate se transformă în energie cinetică a mișcării moleculare dezordonate, adică *lucrul mecanic se transformă în energie calorică*. Aceasta dovedește că și *cantitatea de căldură este o formă de energie*. Este energia mișcării dezordonate a moleculelor. Pe cale artificială s-a realizat și fenomenul reciproc. Tehnica a construit mașini termice, care *transformă energia calorică în energie mecanică*, dovedind că, în adevăr, căldura este o formă de energie.

67. **Echivalentul mecanic al caloriei.** Experiența a dovedit că există un raport determinat între lucrul mecanic consumat și cantitatea de căldură provenită din acest lucru mecanic. R. Mayer a ajuns la concluzia că, pentru a produce o kilocalorie, este totdeauna nevoie de aceeași cantitate de lucru mecanic. **Se numește echivalent mecanic J al caloriei lucrul mecanic necesar pentru a produce o calorie:**

$$\boxed{J = \frac{W}{Q}.} \qquad (26)$$

Scanned with OKEN Scanner

S-au făcut numeroase experienţe pentru determinarea echivalentului mecanic al caloriei. În toate aceste determinări se transformă o cantitate de lucru mecanic în căldură, în condiţii care permit atît măsurarea lucrului mecanic transformat, cît şi a cantităţii de căldură produse din acest lucru mecanic.

Prima experienţă a fost a lui Joule (1843), care a produs lucru mecanic prin căderea a două greutăţi egale G (fig. 73).

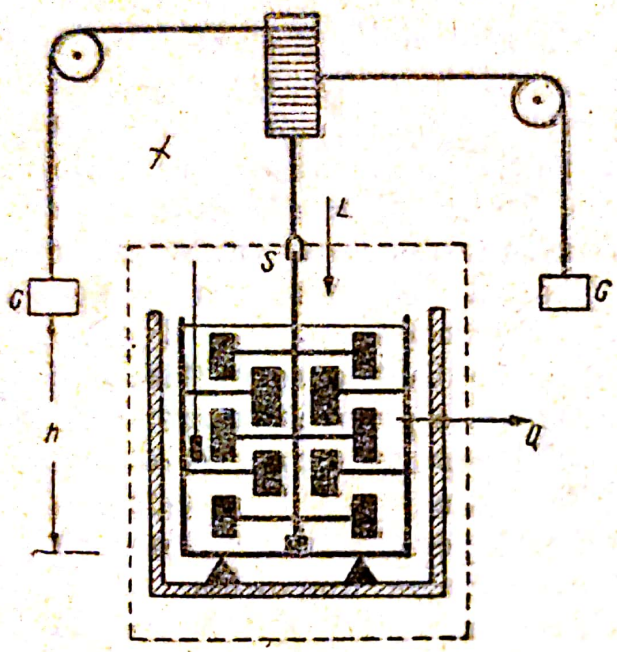

Fig. 73. — Experienţa pentru determinarea echivalentului mecanic al caloriei.

Acest lucru mecanic a fost transformat în căldură prin frecarea produsă într-un calorimetru special. Experienţa se face în felul următor: cele două greutăţi egale G sînt ridicate la înălţimea h. La această înălţime ele posedă o energie potenţială $E_p = 2\,Gh$. Se lasă apoi să cadă cele două greutăţi G pe distanţa h, fără să atingă pămîntul, pentru ca la sfîrşit ele să nu mai aibă energie cinetică. În cădere, energia lor potenţială se transformă în lucru mecanic W, învîrtind un ax vertical, prevăzut cu palete, care se învîrteşte în apa dintr-un calorimetru. Prin frecarea apei de palete şi mai ales prin frecarea straturilor de apă între ele, lucrul mecanic produs prin căderea greutăţilor se transformă în cantitatea de căldură Q, care ridică temperatura apei din calorimetru. Pe lîngă acest lucru mecanic W, se mai consumă şi un lucru mecanic, pentru învingerea frecărilor la scripeţi, lagăre şi frecarea cu aerul. Aceste din urmă frecări însă nu încălzesc apa din calorimetru şi, fiind mici, se neglijează în practică. Prin urmare lucrul mecanic $W = 2\,Mgh$, produs prin căderea greutăţilor, $G = Mg$, se transformă în cantitatea de căldură Q.

Dacă m este echivalentul în apă al calorimetrului cu apă şi $t_1 - t_0$ este creşterea temperaturii, se poate afla cantitatea de căldură produsă $Q = mc(t_1 - t_0)$. Greutăţile au fost lăsate să cadă de un număr n de ori. La fiecare urcare s-a

Scanned with OKEN Scanner

scos șurubul S, așa ca paletele să nu se rotească și în timpul ridicării greutăților G. Cu ajutorul relației (26) se calculează echivalentul mecanic al caloriei:

$$J = \frac{2nMgh}{mc(t_1 - t_0)}$$

și se găsește valoarea:

$$J = 4{,}18 \text{ joule/cal} = 0{,}426 \text{ kgf} \cdot \text{m/cal} = 426 \text{ kgf} \cdot \text{m/kcal}.$$

Valoarea inversă: $A = \frac{1}{J} = 0{,}239$ cal/joule, se numește *echivalent termic al unității de lucru mecanic* și reprezintă *cantitatea de căldură care se poate obține dintr-o unitate de lucru mecanic.*

Experiența lui C. Miculescu. Printre experiențele cele mai precise pentru determinarea echivalentului mecanic al caloriei este și experiența făcută de fizicianul romîn Constantin Miculescu (1892). În această experiență se face măsurarea cantității de căldură printr-o metodă numită *staționară* sau *de zero*. Metoda se numește de zero, deoarece diferența de temperatură rămîne constantă tot timpul experienței.

Calorimetru prevăzut cu palete, ca și aparatul Joule, este așezat orizontal (fig. 74). Axul cu palete al calorimetrului este învîrtit de un motor electric M, care transmite calorimetrului un lucru mecanic W. Prin calorimetru circulă un curent de apă, care intră cu o temperatură t_0. Prin frecare, lucrul mecanic W se transformă în cantitatea de căldură Q, în interiorul calorimetrului. După un oarecare timp de funcționare, temperatura apei la ieșire se stabilizează la o temperatură staționară t_1. Debitul apei care circulă prin calorimetru este reglat așa fel ca t_1 să se stabilizeze la circa 2° deasupra lui t_0.

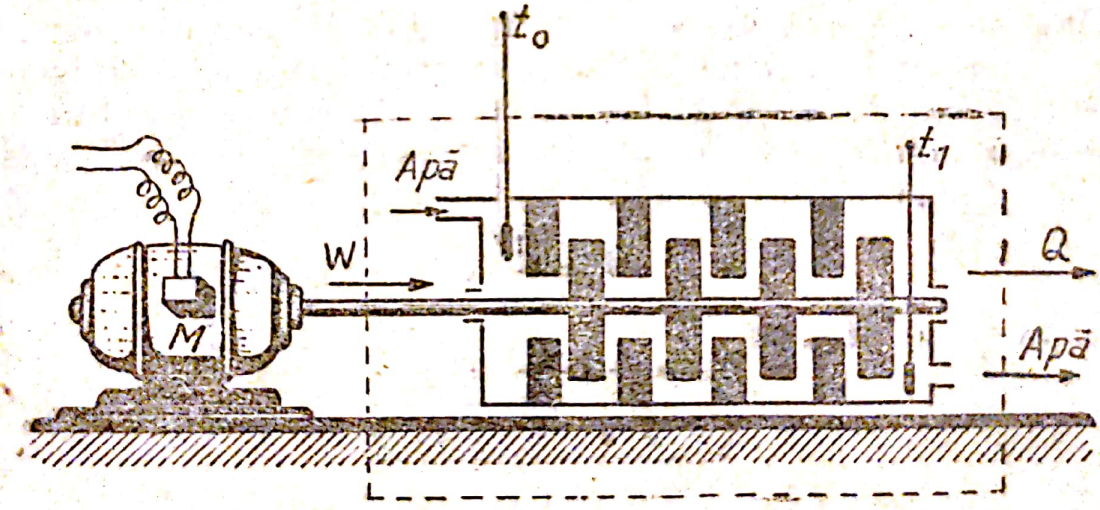

Fig. 74. — Experiența lui Miculescu.

scos șurubul S, așa ca paletele să nu se rotească și în timpul ridicării greutăților G. Cu ajutorul relației (26) se calculează echivalentul mecanic al caloriei:

$$J = \frac{2nMgh}{mc(t_1 - t_0)}$$

și se găsește valoarea:

$$J = 4{,}18 \text{ joule/cal} = 0{,}426 \text{ kgf} \cdot \text{m/cal} = 426 \text{ kgf} \cdot \text{m/kcal}.$$

Valoarea inversă: $A = \frac{1}{J} = 0{,}239$ cal/joule, se numește *echivalent termic al unității de lucru mecanic* și reprezintă *cantitatea de căldură care se poate obține dintr-o unitate de lucru mecanic.*

Experiența lui C. Miculescu. Printre experiențele cele mai precise pentru determinarea echivalentului mecanic al caloriei este și experiența făcută de fizicianul romîn Constantin Miculescu (1892). În această experiență se face măsurarea cantității de căldură printr-o metodă numită *staționară* sau *de zero*. Metoda se numește de zero, deoarece diferența de temperatură rămîne constantă tot timpul experienței.

Calorimetru prevăzut cu palete, ca și aparatul Joule, este așezat orizontal (fig. 74). Axul cu palete al calorimetrului este învîrtit de un motor electric M, care transmite calorimetrului un lucru mecanic W. Prin calorimetru circulă un curent de apă, care intră cu o temperatură t_0. Prin frecare, lucrul mecanic W se transformă în cantitatea de căldură Q, în interiorul calorimetrului. După un oarecare timp de funcționare, temperatura apei la ieșire se stabilizează la o temperatură staționară t_1. Debitul apei care circulă prin calorimetru este reglat așa fel ca t_1 să se stabilizeze la circa 2° deasupra lui t_0.

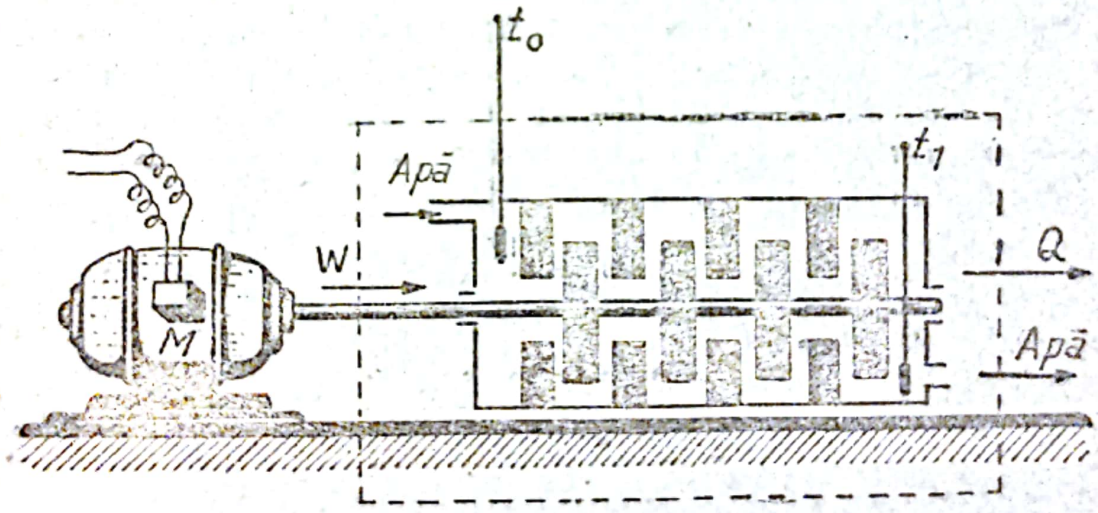

Fig. 74. — Experiența lui Miculescu.

Apa care circulă în calorimetru suferă un ciclu de transformări termice: intră la temperatura t_0, primește o cantitate de căldură Q provenită din lucrul mecanic transformat prin frecare, se încălzește la temperatura t_1, apoi se răcește în exterior la t_0, cedînd cantitatea de căldură absorbită Q. Dacă în timpul experienței a circulat prin calorimetru o masă de apă m, atunci cantitatea de căldură Q va fi:

$$Q = mc(t_1 - t_0).$$

Dacă lucrul mecanic furnizat de motor în timpul experiențelor este W (determinat prin metode de precizie), atunci echivalentul mecanic al caloriei va fi:

$$J = \frac{W}{mc(t_1 - t_0)}.$$

Miculescu a găsit valoarea $J = 4{,}182$ joule/cal, care este tocmai valoarea exactă admisă astăzi pentru echivalentul mecanic al caloriei:

$$\boxed{J = 4{,}182 \text{ joule/cal.}} \qquad (27)$$

68. **Primul principiu al termodinamicii.** În experiențele descrise mai sus, calorimetrul și apa din el formează un sistem de corpuri, care suferă un șir de transformări. În ambele experiențe sistemul a primit din exterior un lucru mecanic W, care s-a transformat prin frecare într-o cantitate de căldură Q și s-a încălzit cu $t_1 - t_0$ grade. Restituind mediului exterior cantitatea de căldură Q primită prin frecare, sistemul revine la starea inițială; spunem că *sistemul a evoluat în ciclu închis*, deoarece starea lui finală este identică cu starea lui inițială. În acest caz cantitatea de căldură Q produsă este echivalentă cu lucrul mecanic W din care a provenit și se poate scrie:

$$J = \frac{W}{Q},$$

de unde se deduce:

$$\boxed{JQ - W = 0.} \qquad (28)$$

Afară de experiențele descrise mai înainte s-au făcut numeroase alte experiențe care au confirmat echivalența dintre cantitatea de căldură și lucrul mecanic, care se pot transforma reciproc. Din toate cercetările făcute se pot scoate următoarele concluzii, care reprezintă principiul echivalenței sau **primul principiu al termodinamicii.**

Cînd un sistem de corpuri evoluează în ciclu închis și schimbă cu exteriorul numai căldură și lucru mecanic, atunci

Apa care circulă în calorimetru suferă un ciclu de transformări termice: intră la temperatura t_0, primește o cantitate de căldură Q provenită din lucrul mecanic transformat prin frecare, se încălzește la temperatura t_1, apoi se răcește în exterior la t_0, cedînd cantitatea de căldură absorbită Q. Dacă în timpul experienței a circulat prin calorimetru o masă de apă m, atunci cantitatea de căldură Q va fi:

$$Q = mc(t_1 - t_0).$$

Dacă lucrul mecanic furnizat de motor în timpul experiențelor este W (determinat prin metode de precizie), atunci echivalentul mecanic al caloriei va fi:

$$J = \frac{W}{mc(t_1 - t_0)}.$$

Miculescu a găsit valoarea $J = 4{,}182$ joule/cal, care este tocmai valoarea exactă admisă astăzi pentru echivalentul mecanic al caloriei:

$$\boxed{J = 4{,}182 \text{ joule/cal.}} \qquad (27)$$

68. **Primul principiu al termodinamicii.** În experiențele descrise mai sus, calorimetrul și apa din el formează un sistem de corpuri, care suferă un șir de transformări. În ambele experiențe sistemul a primit din exterior un lucru mecanic W, care s-a transformat prin frecare într-o cantitate de căldură Q și s-a încălzit cu $t_1 - t_0$ grade. Restituind mediului exterior cantitatea de căldură Q primită prin frecare, sistemul revine la starea inițială; spunem că *sistemul a evoluat în ciclu închis*, deoarece starea lui finală este identică cu starea lui inițială. În acest caz cantitatea de căldură Q produsă este echivalentă cu lucrul mecanic W din care a provenit și se poate scrie:

$$J = \frac{W}{Q},$$

de unde se deduce:

$$\boxed{JQ - W = 0.} \qquad (28)$$

Afară de experiențele descrise mai înainte s-au făcut numeroase alte experiențe care au confirmat echivalența dintre cantitatea de căldură și lucrul mecanic, care se pot transforma reciproc. Din toate cercetările făcute se pot scoate următoarele concluzii, care reprezintă principiul echivalenței sau **primul principiu al termodinamicii**.

Cînd un sistem de corpuri evoluează în ciclu închis și schimbă cu exteriorul numai căldură și lucru mecanic, atunci

Scanned with OKEN Scanner

transmite o cantitate de căldură mediului exterior, dacă primește lucru mecanic; produce lucru mecanic, dacă primește din exterior o cantitate de căldură; între lucrul mecanic primit sau produs și cantitatea de căldură cedată sau primită există un raport constant, numit echivalent mecanic.

Expresia matematică a acestui principiu este dată de relația (28).

69. Legea conservării energiei. În studiul mecanicii, din clasa a VIII-a, am văzut că, *într-un sistem izolat, energia mecanică totală rămîne constantă, adică:*

$$E_k + E_p = E_t = constant. \qquad (29)$$

Cu alte cuvinte, energia cinetică a sistemului de corpuri se poate transforma în energie potențială sau invers, dar suma lor rămîne constantă, dacă nu intervin frecări.

În realitate însă, fenomenele fizice se produc cu frecări, în cursul cărora o parte din energia mecanică a sistemului de corpuri se transformă treptat în căldură, care se împrăștie în spațiu, părăsind sistemul dacă acesta nu este izolat termic. În acest caz, energia mecanică totală a sistemului nu mai rămîne constantă. Legea conservării energiei cere să ținem seamă și de energia calorică produsă.

De aceea legea conservării energiei mecanice se poate generaliza într-o lege a conservării și transformării energiei în procesele mecanice și termice, care se poate enunța astfel:

Într-un sistem fizic izolat, în care se produc numai procese mecanice și termice, energia totală este constantă. Energia mecanică se poate transforma în energie calorică sau invers; cantitățile de energie transformate sînt echivalente între ele.

Dar cercetările din fizică au arătat că legea conservării energiei se poate extinde la toate formele de energie. De exemplu, într-un motor arde motorină: energia chimică a combustibilului se transformă în energie calorică, ceea ce face ca gazele care rezultă din ardere să aibă o temperatură mare, deci și presiune mare. Gazele împing pistonul și se răcesc. Prin urmare, energia calorică se transformă în lucru mecanic, adică în mișcare a axului motorului. Această mișcare este transmisă rotorului unui dinam care produce curent electric. Deci energia mecanică produsă de motor s-a transformat în energie electrică. Această energie electrică poate fi utilizată pentru încălzit, transformîndu-se în energie calorică, sau la mișcarea unui tramvai, transformîndu-se în

Scanned with OKEN Scanner

transmite o cantitate de căldură mediului exterior, dacă primește lucru mecanic; produce lucru mecanic, dacă primește din exterior o cantitate de căldură; între lucrul mecanic primit sau produs și cantitatea de căldură cedată sau primită există un raport constant, numit echivalent mecanic.

Expresia matematică a acestui principiu este dată de relația (28).

69. **Legea conservării energiei.** În studiul mecanicii, din clasa a VIII-a, am văzut că, *într-un sistem izolat, energia mecanică totală rămîne constantă, adică:*

$$E_k + E_p = E_t = constant. \qquad (29)$$

Cu alte cuvinte, energia cinetică a sistemului de corpuri se poate transforma în energie potențială sau invers, dar suma lor rămîne constantă, dacă nu intervin frecări.

În realitate însă, fenomenele fizice se produc cu frecări, în cursul cărora o parte din energia mecanică a sistemului de corpuri se transformă treptat în căldură, care se împrăștie în spațiu, părăsind sistemul dacă acesta nu este izolat termic. În acest caz, energia mecanică totală a sistemului nu mai rămîne constantă. Legea conservării energiei cere să ținem seamă și de energia calorică produsă.

De aceea legea conservării energiei mecanice se poate generaliza într-o lege a conservării și transformării energiei în procesele mecanice și termice, care se poate enunța astfel:

Într-un sistem fizic izolat, în care se produc numai procese mecanice și termice, energia totală este constantă. Energia mecanică se poate transforma în energie calorică sau invers; cantitățile de energie transformate sînt echivalente între ele.

Dar cercetările din fizică au arătat că legea conservării energiei se poate extinde la toate formele de energie. De exemplu, într-un motor arde motorină: energia chimică a combustibilului se transformă în energie calorică, ceea ce face ca gazele care rezultă din ardere să aibă o temperatură mare, deci și presiune mare. Gazele împing pistonul și se răcesc. Prin urmare, energia calorică se transformă în lucru mecanic, adică în mișcare a axului motorului. Această mișcare este transmisă rotorului unui dinam care produce curent electric. Deci energia mecanică produsă de motor s-a transformat în energie electrică. Această energie electrică poate fi utilizată pentru încălzit, transformîndu-se în energie calorică, sau la mișcarea unui tramvai, transformîndu-se în

Scanned with OKEN Scanner

energie mecanică etc. Prin urmare, toate formele de energie se pot transforma unele în altele, dar în cantități echivalente.

Într-un sistem fizic izolat, diferitele forme de energie se pot transforma unele în altele, suma lor rămînînd constantă ca valoare. Aceasta este o lege importantă a naturii, numită *legea conservării cantitative și a transformării calitative a energiei în procesele fizice*, enunțată întîia oară de Lomonosov.

70. **Perpetuum mobile.** Primul principiu al termodinamicii stă la baza tuturor legilor naturii. El ne arată că energia se transformă dintr-o formă în alta, dar ea nu dispare fără urmă în univers și nici nu se creează din nimic. Multă vreme nu s-a știut acest lucru și s-a încercat construirea unei mașini cu mișcarea perpetuă, deci o mașină care să producă lucru mecanic la infinit, fără să consume nimic dinafară. O asemenea mașină, care ar contrazice primul principiu al termodinamicii se numește *perpetuum mobile*. Principiul întîi al termodinamicii arată că o astfel de mașină este imposibilă.

Totuși, unele persoane fără pregătire științifică suficientă încearcă și astăzi să construiască o asemenea mașină, ceea ce înseamnă, evident, o încercare fără rezultat.

71. **Joule — ca unitate de căldură.** Deoarece cantitatea de căldură este o formă de energie, ea trebuie să fie măsurată cu unitățile de energie, nu cu o unitate specială, caloria. Unitatea MKS de cantitate de căldură este joulul. În acest caz, căldura specifică a apei devine:

$$c = 4{,}182 \frac{\text{joule}}{\text{g} \cdot \text{grad}}.$$

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este termodinamica?
2. Arătați fapte experimentale care contrazic existența caloricului.
3. Ce este cantitatea de căldură?
4. Ce se înțelege prin echivalentul mecanic al caloriei? Dar prin echivalentul termic al unității de lucru mecanic?
5. Enunțați primul principiu al termodinamicii.
6. Ce se înțelege prin *perpetuum mobile*?

PROBLEME

1. Într-o experiență cu aparatul Joule s-au lăsat să cadă de 120 de ori 2 mase de cîte 2,5 kg de la înălțimea de 1,5 m. Cu cîte grade s-a încălzit cantitatea de 2 kg de apă aflată în calorimetru, care are valoarea în apă de 107 g?

Răspuns: $\approx 1°C$.

Scanned with OKEN Scanner

energie mecanică etc. Prin urmare, toate formele de energie se pot transforma unele în altele, dar în cantități echivalente.

Într-un sistem fizic izolat, diferitele forme de energie se pot transforma unele în altele, suma lor rămînînd constantă ca valoare. Aceasta este o lege importantă a naturii, numită *legea conservării cantitative și a transformării calitative a energiei în procesele fizice*, enunțată întîia oară de Lomonosov.

70. **Perpetuum mobile.** Primul principiu al termodinamicii stă la baza tuturor legilor naturii. El ne arată că energia se transformă dintr-o formă în alta, dar ea nu dispare fără urmă în univers și nici nu se creează din nimic. Multă vreme nu s-a știut acest lucru și s-a încercat construirea unei mașini cu mișcarea perpetuă, deci o mașină care să producă lucru mecanic la infinit, fără să consume nimic dinafară. O asemenea mașină, care ar contrazice primul principiu al termodinamicii se numește *perpetuum mobile*. Principiul întîi al termodinamicii arată că o astfel de mașină este imposibilă.

Totuși, unele persoane fără pregătire științifică suficientă încearcă și astăzi să construiască o asemenea mașină, ceea ce înseamnă, evident, o încercare fără rezultat.

71. **Joule — ca unitate de căldură.** Deoarece cantitatea de căldură este o formă de energie, ea trebuie să fie măsurată cu unitățile de energie, nu cu o unitate specială, caloria. Unitatea MKS de cantitate de căldură este joulul. În acest caz, căldura specifică a apei devine:

$$c = 4{,}182 \frac{\text{joule}}{\text{g} \cdot \text{grad}}.$$

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este termodinamica?
2. Arătați fapte experimentale care contrazic existența caloricului.
3. Ce este cantitatea de căldură?
4. Ce se înțelege prin echivalentul mecanic al caloriei? Dar prin echivalentul termic al unității de lucru mecanic?
5. Enunțați primul principiu al termodinamicii.
6. Ce se înțelege prin *perpetuum mobile*?

PROBLEME

1. Într-o experiență cu aparatul Joule s-au lăsat să cadă de 120 de ori 2 mase de cîte 2,5 kg de la înălțimea de 1,5 m. Cu cîte grade s-a încălzit cantitatea de 2 kg de apă aflată în calorimetru, care are valoarea în apă de 107 g?

Răspuns: $\approx 1°C$.

Scanned with OKEN Scanner

2. O locomotivă are puterea medie de 400 CP și randamentul de 8%. Câți cărbuni cu puterea calorică de 7 000 kcal/kg consumă în 3 ore de mers?

Răspuns: 1 358 kg.

3. În golul produs prin perforarea unei țevi de fontă s-au turnat 5 kg de apă la 10°C. După 5 minute de funcționare a mașinii, apa a început să fiarbă. Ce putere are mașina de perforat, dacă se neglijează pierderile de căldură?

Răspuns: 8,52 CP.

4. O mașină cu vapori, având randamentul de 10%, acționează o pompă care ridică 300 t de apă la 45 m înălțime, în timp de 5 ore. Ce putere are mașina și ce cantitate de cărbuni (huilă) a consumat?

Răspuns: 10 CP; 45,27 kg.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 2

Determinarea căldurii specifice a unui corp

Pentru a determina căldura specifică a unui corp solid, se folosește calorimetrul și se procedează așa cum s-a descris la § 61.

Se cîntărește mai întîi masa m a corpului a cărui căldură specifică se determină. Corpul este apoi legat cu o sfoară și pus într-un vas cu apă care fierbe. Se cîntărește vasul calorimetric gol și se notează masa lui m_1; se pune apă în el și se cîntărește plin. Diferența $m_2 = m' - m_1$ dintre masa lui m' plin cu apă și masa lui m_1 inițială reprezintă masa m_2 a apei din vasul calorimetric. Valorile găsite pentru cele 3 mase se trec în tabela de rezultate, împreună cu celelalte rezultate care vor mai fi găsite:

	masa în grame	temperatura inițială	temperatura finală	căldura specifică
Vasul calorimetric	$m_1 =$	$t_1^\circ =$	$\theta^\circ =$	$c_1 =$
Apa	$m_2 =$	$t_1^\circ =$	$\theta^\circ =$	$c_2 = 1$
Corpul	$m =$	$t^\circ =$	$\theta^\circ =$	$c =$
			Media	$c =$

După ce corpul a stat 5—10 minute în vasul cu apă care fierbe, este apucat de sfoară și scos, scuturat repede de apă și introdus în apa din vasul calorimetric. Această operație se face imediat după ce mai

Scanned with OKEN Scanner

întîi am citit temperatura t°_1 a apei din vasul calorimetric. Se notează în tabel temperatura t°_1, precum și temperatura t° a apei care fierbe și care are deci temperatura inițială a corpului de studiat.

Se mișcă corpul prin apa din calorimetru, ținîndu-l de sfoară, fără a-l scoate din apă, și se urmărește atent cum crește temperatura apei din calorimetru.

Notăm temperatura finală 0°, care este temperatura maximă arătată de termometrul din calorimetru. Citirea temperaturii să se facă cu ajutorul unei lupe pentru a se putea aprecia 0,25 dintr-un grad. Din tabelele de constante fizice se ia căldura specifică c_1 a substanței din care este făcut vasul calorimetric. Se scrie apoi ecuația calorimetrică din care se deduce căldura specifică a corpului:

$$c = \frac{(m_1 c_1 + m_2)(0^\circ - t^\circ_1)}{m(t^\circ - 0^\circ)} \text{ cal/g·grad.}$$

Valoarea aflată se trece în tabelul de rezultate; apoi se repetă determinarea încă de două ori și se face media.

Reușita experienței depinde în primul rînd de exactitatea citirii temperaturii. Pentru citirea temperaturii nu se va scoate termometrul din apă și se va alege momentul de citire exact cînd temperatura este maximă și începe să scadă.

DILATAȚIA CORPURILOR SUB ACȚIUNEA CĂLDURII
DILATOMETRIE

72. **Dilatația corpurilor.** Efectele căldurii sînt numeroase și variate. Topirea corpurilor solide, fierberea lichidelor, dilatația sînt datorite încălzirii corpurilor. Dacă se încălzește sau se răcește un corp, dimensiunile lui variază. Cînd se încălzește un corp, dimensiunile lui se măresc, cînd se răcește, dimensiunile lui se micșorează.

Variația dimensiunilor unui corp din cauza variației temperaturii se numește dilatație.

Cauza dilatației este mărirea energiei interne a moleculelor. Corpul solid este format din molecule sau ioni care oscilează în jurul unei poziții de echilibru. Cînd temperatura crește, viteza medie a moleculelor crește și, ca urmare, energia internă crește. Din această cauză se mărește amplitudinea oscilațiilor moleculelor, iar distanțele dintre ele cresc de asemenea, mărind astfel volumul pe care îl ocupă. Prin răcire se produce fenomenul invers. Deci, prin dilatație nu variază volumele moleculelor, ci numai spațiul intermolecular.

Variația dimensiunilor corpurilor solide este în general foarte mică și, pentru a putea fi făcută vizibilă, se folosesc anumite dispozitive.

Scanned with OKEN Scanner

73. **Dilatația corpurilor solide.** Cînd una din dimensiunile corpului este mult mai mare decît celelalte două, se consideră dilatația în *lungime* sau *liniară* a corpului solid. Este cazul vergelelor, tuburilor, șinelor etc.

Cînd două dimensiuni ale corpului au valori apropiate una de cealaltă, iar a treia dimensiune este neglijabilă față de ele, corpul se dilată în *suprafață* sau *superficial*. De exemplu, foile de tablă.

Cînd toate cele trei dimensiuni ale corpului au valori comparabile una cu alta, corpul solid se dilată după cele trei dimensiuni, iar dilatația se numește dilatație în *volum* sau *cubică*.

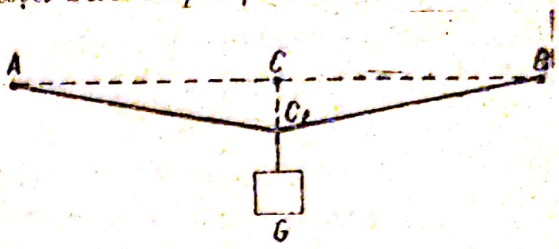

Fig. 75. — Dilatația unui fir.

Se arată calitativ *dilatația liniară* a corpurilor solide cu următorul dispozitiv. Între două puncte fixe A, B (fig. 75) se întinde un fir metalic iar de mijlocul lui se atîrnă o greutate oarecare. Se trece un curent electric prin fir, așa încît acesta să se încălzească pînă la roșu. Imediat ce începe să treacă curentul, se observă că mijlocul firului se lasă în jos, ceea ce dovedește că firul se lungește prin încălzire. Punctul C, de care este atîrnată greutatea, se deplasează pînă în C_1. Măsurînd distanța CC_1, se poate calcula dilatația firului AB, aplicînd teorema lui Pitagora.

Un alt dispozitiv cu care se arată dilatația liniară a corpurilor solide este pirometrul cu cadran (fig. 76), cunoscut încă din clasa a VI-a. El este format dintr-o vergea AB de metal (de exemplu de fier), fixată la un capăt A cu un

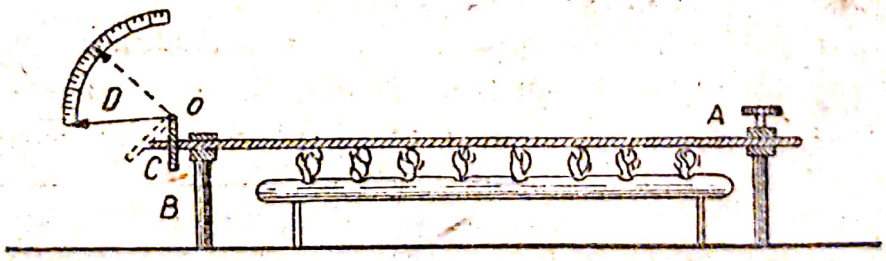

Fig. 76. — Pirometru cu cadran.

șurub, iar la celălalt capăt liberă, sprijinindu-se ușor pe o pîrghie C, care apasă pe un ac indicator D. Acul este mobil în jurul punctului O și se mișcă în fața unui cadran gradat. Dedesubtul vergelei este o tăviță în care se arde spirt. Acul indicator se găsește la începutul experienței în

fața diviziunii zero de pe cadran. Se încălzește bara și se observă că acul deviază, ceea ce dovedește că bara s-a alungit.

Se înlocuiește bara de fier cu una de cupru, apoi cu alta de aluminiu sau de zinc, toate de aceeași lungime; încălzindu-le la același izvor același interval de timp, se constată că ele se dilată diferit. Zincul se dilată cel mai mult, după care urmează aluminiul, apoi cuprul și fierul.

Aceasta înseamnă că și unitatea de lungime a diferitelor bare de metal se dilată cu valori diferite, cînd această unitate de lungime este încălzită cu același număr de grade.

Cantitatea cu care se dilată o unitate de lungime dintr-un corp cînd temperatura crește cu 1°C se numește coeficient de dilatație liniară sau dilativitate liniară. Se notează cu litera grecească α (alfa).

Din această definiție rezultă formula coeficientului de dilatație liniară:

$$\boxed{\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 (t - t_0)}} \qquad (30)$$

$l - l_0$ este variația lungimii pentru variația de temperatură $t - t_0$. Lungimea l_0 este valoarea lungimii la temperatura inițială t_0.

Din formula (30) se poate deduce formula dilatației liniare a unei lungimi inițiale l_0 între două temperaturi 0° și $t°$, înlocuind pe t_0 cu 0°:

$$\boxed{l = l_0 (1 + \alpha t)} \qquad (31)$$

în care l_0 este lungimea la 0°, iar factorul $1 + \alpha t$ se numește *binom de dilatație liniară*. El arată de cîte ori este mai mare lungimea corpului încălzit la temperatura t°C decît lungimea lui la 0°C.

Tabela următoare arată coeficienții de dilatație între 0° și 100°C ai cîtorva metale și aliaje:

Substanța	α	Substanța	α
Zinc	0,000029	Platină	0,000009
Aluminiu	0,000024	Sticlă	0,000009
Staniu	0,000023	Platinit (oțel + 46% Ni)	0,000009
Alamă	0,000019	Cuarț topit	0,00000057
Cupru	0,000017	Invar (oțel + 36% Ni)	0,0000009
Oțel	0,0000106		
Fier	0,000012		

Scanned with OKEN Scanner

Se remarcă din această tabelă că invarul se dilată foarte puțin, ceea ce face ca el să fie folosit la construirea instrumentelor de metrologie.

Sticla și platina au aproape același coeficient de dilatație. Această proprietate este importantă în practică. Pentru ca sudura a două corpuri să se mențină la oricare altă temperatură, coeficienții de dilatație ai corpurilor care se sudează trebuie să fie egali. De aceea, sticla se poate suda cu platina.

Cuarțul topit, numit și sticla de cuarț, are un coeficient de dilatație foarte mic, datorită căruia el poate fi aruncat în apă, în stare incandescentă, fără să crape.

74. **Forțele de dilatație.** Între moleculele corpurilor se exercită forțe de atracție, adică de coeziune. Prin dilatația corpurilor cresc distanțele dintre molecule. Pentru a mări dimensiunile corpurilor cu aceeași valoare ca și prin dilatație, dar fără a le încălzi, corpurile ar trebui întinse cu forțe exterioare foarte mari. Acestea sînt forțe elastice, numite forțe de dilatație, care se opun coeziunii corpului.

De exemplu, încălzind o bară de oțel cu 200°C, ea se dilată cu $200\ \alpha = 0{,}00212$ ori lungimea sa inițială. Dacă ar trebui să alungim bara cu aceeași valoare, însă prin tracțiune mecanică, ar fi necesară o forță de 4 664 kgf/cm². Înțelegem deci pentru care motiv este nevoie să se țină seama în tehnică de forțele de dilatație ale corpurilor, deoarece, dacă aceste dilatații (alungiri sau scurtări) sînt împiedicate, se nasc în piesele respective forțe atît de mari, încît ele se pot distruge.

75. **Dilatația în volum** se arată calitativ prin cunoscuta experiență a inelului lui Gravesande (fig. 77). Este un inel metalic prin care trece ușor o sferă de metal cu aproape același diametru, la temperatura obișnuită. Cînd se încălzește sfera la o flacără, ea nu mai trece, ceea ce dovedește că și-a mărit volu-

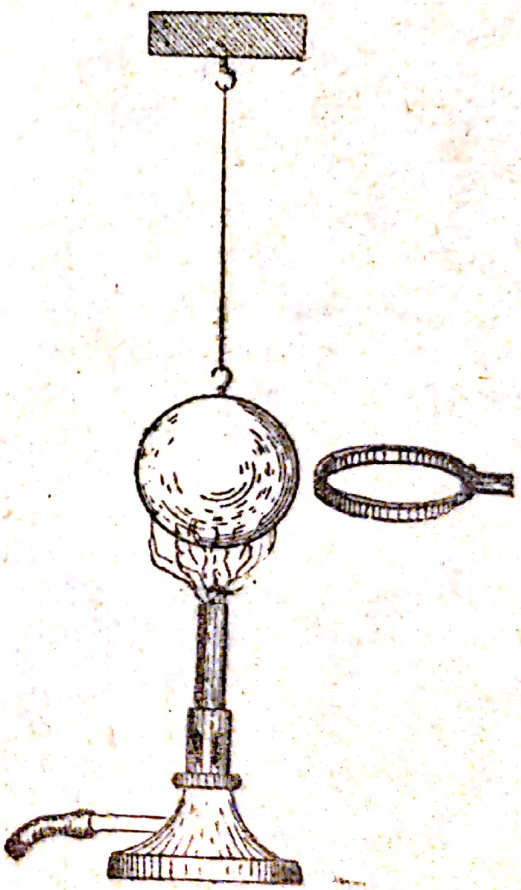

Fig. 77. — Inelul lui S. Gravesande.

mul. Dacă se încălzesc deodată și sfera și inelul, sfera trece cu ușurință, ceea ce dovedește că inelul s-a dilatat ca și sfera, deși el este gol la mijloc. Corpurile goale se dilată ca și cum ar fi pline.

Studiind dilatația unui solid făcut din același material, care are cele trei dimensiuni cu valori apropiate între ele, se dovedește că fiecare dimensiune a lui se dilată liniar în toate trei direcțiile la fel. Forma căpătată după dilatație este asemenea cu cea inițială. Însă numai corpurile omogene (cu o compoziție identică în orice punct) sînt izotrope (au proprietățile fizice la fel în orice direcție), deci se dilată uniform în toate direcțiile. Corpuri izotrope sînt solidele amorfe și solidele cristalizate în sistemul cubic (sarea gemă, alaunul etc.). Majoritatea corpurilor cristalizate sînt anizotrope, deci se dilată diferit după direcții diferite.

Formula coeficientului de dilatație în volum se stabilește la fel ca și pentru coeficientul de dilatație liniară. Se consideră un solid izotrop cu volumul inițial V_0 la 0°C; la temperatura t, volumul devine V. Creșterea de volum este $V - V_0$. Numai pentru 1°C, creșterea de volum va fi $\frac{V - V_0}{t - t_0}$, iar pentru o singură unitate de volum, volumul se dilată tocmai cu valoarea coeficientului de dilatație:

$$\boxed{\gamma = \frac{V - V_0}{V_0 (t - t_0)}}. \qquad (32)$$

Coeficientul de dilatație volumică sau dilativitate volumică este *cantitatea cu care se dilată unitatea de volum dintr-un corp cînd temperatura sa variază cu* 1°C. Se notează cu litera grecească γ (gama).

Analog formulei pentru lungimea finală, volumul la $t°$ se poate deduce din (31) și va fi:

$$\boxed{V = V_0 (1 + \gamma t)}. \qquad (33)$$

Această formulă permite calcularea volumului la diferite temperaturi, cunoscînd binomul de dilatație în volum: $1 + \gamma t$.

Nu este nevoie să se determine special coeficientul de dilatație volumică, deoarece se poate demonstra ușor că el este de trei ori mai mare decît coeficientul de dilatație liniară al aceleiași substanțe:

$$\boxed{\gamma = 3\alpha}. \qquad (34)$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru aceasta, considerăm un corp solid omogen și izotrop (fig. 78) în forma unui cub cu latura l_0 la 0°C, avînd deci volumul $V = l_0^3$. La temperatura t_0, volumul său va deveni $V = l^3$.

V se poate exprima fie cu ajutorul coeficientului de dilatație volumică, fie cu ajutorul coeficientului de dilatație liniară: $V = V_0(1 + \gamma t) = V_0(1 + \alpha t)^3$, de unde se deduce că: $1 + \gamma t = 1 + \alpha^3 t^3 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2$.

Coeficientul de dilatație liniară este o mărime subunitară de ordinul 10^{-6}. Prin ridicare la pătrat și la cub, valorile vor deveni și mai mici, încît vor putea fi neglijate. De exemplu, în cazul fierului:

$$\alpha = 0{,}000\,012$$
$$3\alpha^2 = 0{,}000\,000\,000\,432$$
$$\alpha^3 = 0{,}000\,000\,000\,000\,001\,728,$$

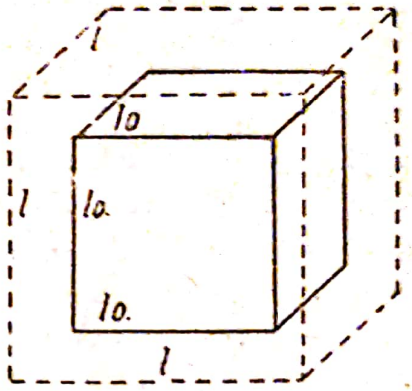

Fig. 78. — Dilatarea unui cub.

adică termenii $\alpha^3 t^3$, $3\alpha^2 t^2$ se pot neglija față de $3\alpha t$ și relația de mai sus devine:

$$1 + \gamma t \cong 1 + 3\alpha t$$
$$\gamma t \cong 3\alpha t$$
$$\gamma \cong 3\alpha.$$

S-au determinat experimental coeficienții de dilatație volumică și s-a constatat că valorile lor sînt de 3 ori mai mari decît valorile corespunzătoare ale coeficientului de dilatație liniară.

76. **Variația densității cu temperatura.** După cum se știe, densitatea este numeric egală cu masa unității de volum. Fie densitatea la zero grade: $\rho_0 = \frac{m}{V_0}$. Dacă se încălzește corpul, volumul lui crește, dar masa nu se schimbă. Densitatea la t_0 va fi:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0(1 + \gamma t)}.$$

Se observă că numărătorul fracției rămîne constant, pe cînd numitorul ei crește, deci valoarea fracției scade. Adică: $\rho < \rho_0$. Înlocuind în formula de mai sus pe $\frac{m}{V_0}$ cu ρ_0, se obține:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \gamma t},$$

ceea ce arată că densitatea unui corp variază invers proporțional cu binomul de dilatație în volum. *Prin încălzire, un corp devine mai puțin dens.*

77. **Dilatația lichidelor.** Studiul dilatației lichidelor se face mai anevoios, din cauză că lichidul trebuie pus într-un vas care suferă și el o dilatație în același timp cu lichidul. Dilatația observată cînd se încălzește un lichid într-un vas este o dilatație aparentă: ea rezultă din diferența dintre dilatația absolută (reală) a lichidului și dilatația vasului în care se găsește lichidul.

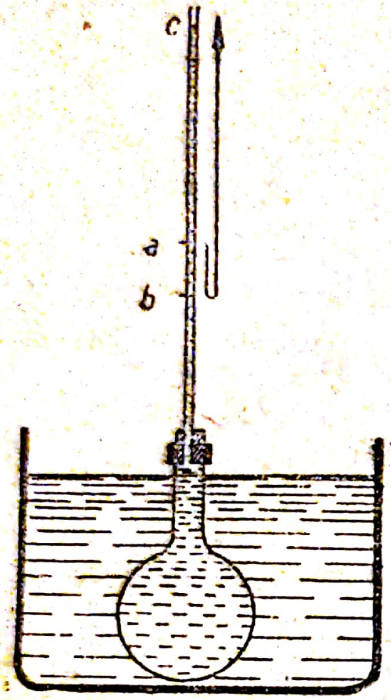

Fig. 79. — Demonstrarea dilatării unui lichid.

Se observă ușor fenomenul dilatației lichidelor cu ajutorul unui balon astupat cu un dop, prin care trece un tub îngust de sticlă (fig. 79). Balonul și o parte din tub conțin un lichid colorat. Se marchează cu un inel de ață nivelul inițial *a* al lichidului în tub. Se introduce balonul în apă fierbinte. Nivelul lichidului scade mai întîi pînă în *b*, apoi se ridică pînă în *c*. Aceasta dovedește că întîi s-au dilatat pereții vasului, volumul acestuia a crescut și nivelul lichidului a scăzut. Apoi căldura a ajuns la lichid, care s-a dilatat de asemenea, dar mult mai mult decît vasul, nivelul lichidului urcîndu-se în tub. Deci coeficientul de dilatație al lichidelor este mult mai mare decît al solidelor.

Din cele de mai sus deducem că dilatația reală a unui lichid este mai mare decît dilatația lui aparentă. Fie un vas care conține apă pînă la nivelul AB (fig. 80). Prin încălzire, nivelul apei se ridică pînă în DC. Dilatația pe care o observăm noi va fi deci volumul hașurat cuprins între A_1B_1CD și se numește **dilatație aparentă.** În realitate s-a dilatat și vasul, care a devenit mai larg (linia punctată). Prin urmare, dilatația aparentă nu reprezintă

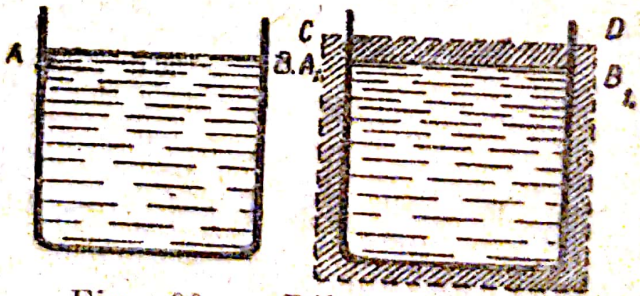

Fig. 80. — Dilatarea reală și dilatarea aparentă.

dilatația totală a lichidului, ci numai partea cu care dilatația reală a lichidului depășește dilatația vasului. **Dilatația reală** a lichidului este compusă din dilatația aparentă a lichidului și din dilatația vasului în care se găsește lichidul.

Lichidul neavînd o formă anumită, iar moleculele lui putînd să alunece unele pe lîngă altele, rezultă că la lichide se ia în general în considerare numai dilatația în volum care se face după aceeași lege ca și la solide:

$$V = V_0 (1 + \gamma t).$$

La dilatația unui lichid aflat într-un tub se poate considera și dilatația liniară.

Iată coeficienții de dilatație volumică ai cîtorva lichide la temperatura de 18°C.

Substanța	γ	Substanța	γ
apă	0,00018	benzen	0,00118
mercur	0,000018	alcool etilic	0,00105
glicerină	0,0005	eter	0,0015
untdelemn	0,0007	petrol	0,00096

78. **Dilatația apei.** Între 0°C și 4°C legea dilatației apei este diferită de legea dilatației celorlalte lichide.

Pentru a studia dilatația apei se încălzește încet o masă de apă, începînd de la 0°C. În loc să crească, volumul scade pînă cînd temperatura ajunge la + 4°C; pe urmă începe să se dilate regulat, ca și celelalte corpuri. Reprezentînd grafic variația volumului în funcție de temperatură, curba arată că la + 4°C apa are volumul minim (fig. 81). Deci la +4°C densitatea apei este maximă.

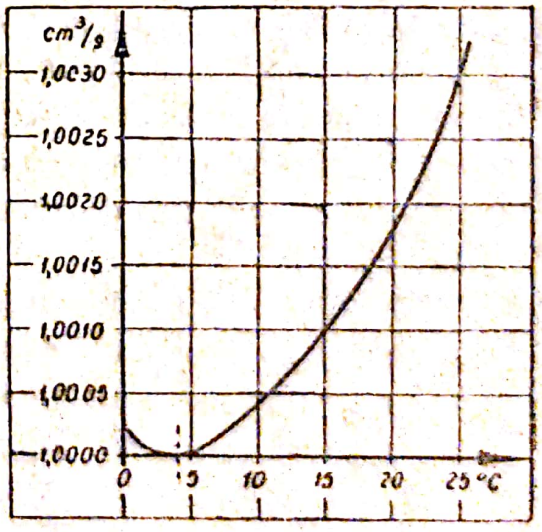

Fig. 81. — Variația volumului apei în funcție de temperatură.

Hope a imaginat următoarea experiență prin care se pune în evidență proprietatea apei de a avea maximum de

densitate la + 4°C. Într-un vas de sticlă *A* se pune apă (fig. 82). Mijlocul vasului este înconjurat cu un manșon metalic *M*, în care se pune gheață. În partea superioară și cea inferioară a vasului se găsesc 2 termometre *T* și *T'*. Presupunem temperatura inițială a apei 15°C. Cînd punem gheața, temperatura termometrului *T* scade foarte încet, pe cînd temperatura *T'* scade repede pînă la + 4°C, pe urmă *T'* devine staționar, în timp ce *T* scade pînă la 0°.

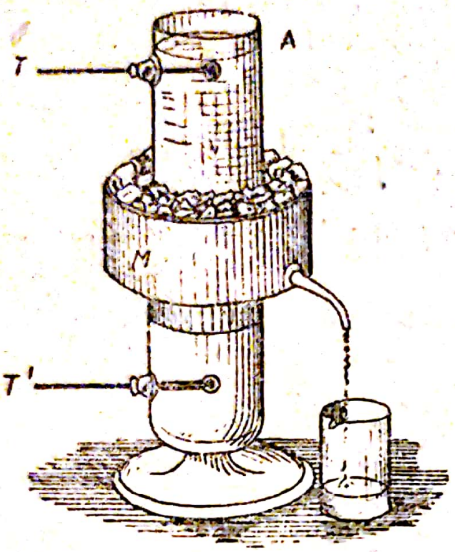

Fig. 82. — Experiența Hope.

Deci cînd temperatura a scăzut pînă la 4°C, apa s-a contractat, a devenit mai densă și a căzut la fund, așa că *T'* arată mereu 4°C. Cînd temperatura scade sub 4°C, în dreptul manșonului apa se dilată, devine mai ușoară și rămîne în partea de sus a vasului, așa că *T* arată temperaturi din ce în ce mai joase, în timp ce *T'* arată tot + 4°C.

Densitatea maximă a apei la + 4°C are importanță biologică. Iarna, cînd pe suprafața lacurilor este gheață, la fundul lor temperatura este de 4°C, ceea ce permite viața animalelor (fig. 83). Din cauza dilatației sale neregulate, apa nu poate fi folosită la construcția termometrelor. În adevăr, se constată că același volum de 1,0001 cm^3 corespunde la 2 temperaturi diferite: 1°C și 7°C.

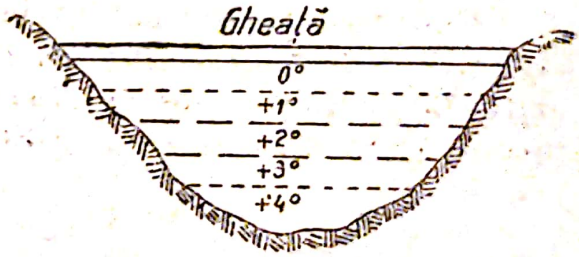

Fig. 83. — Variația temperaturii apei unui lac.

79. Aplicații ale dilatației corpurilor. Prin dilatarea corpurilor solide se nasc tensiuni foarte mari, care ar deforma corpurile, dacă ele nu ar avea loc liber să se dilate. De aceste tensiuni trebuie să se țină seama la orice construcții. Între capetele șinelor de cale ferată se lasă o distanță pentru dilatarea lor în timpul verii. Reazemele podurilor metalice nu se fixează rigid, ci se așază pe role (fig. 84). Tuburile

de metal prin care trec vapori se unesc la capete printr-o buclă (fig. 85) care permite dilatația tubului. Foile de tablă de pe casă nu se fixează la ambele capete, pentru că altfel vara s-ar ondula, iar iarna s-ar întinde. Pentru același motiv nu se toarnă brusc ceaiul fierbinte în pahar, deoarece sticla fiind rea conducătoare de căldură se dilată brusc numai stratul interior al paharului, iar celelalte rămîn reci, și

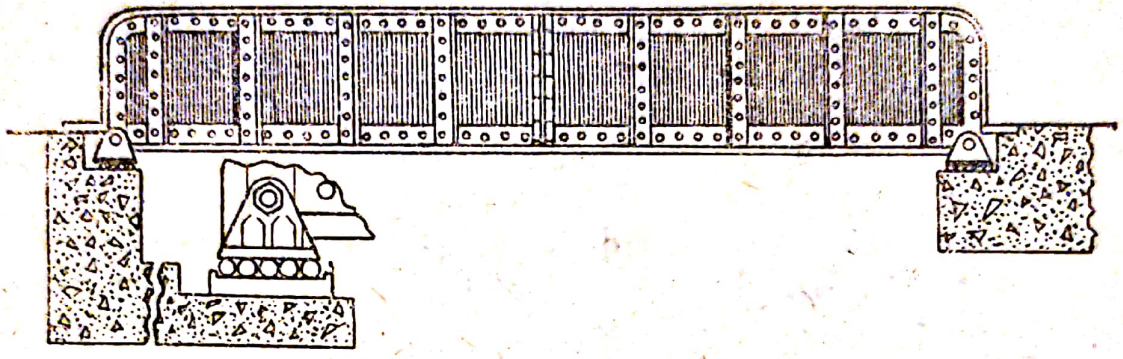

Fig. 84. — Pod pe role.

atunci se desprind și crapă. De aceea, pentru laborator, se folosește sticla pyrex cu coeficient de dilatare foarte mic, aproape zero.

În industria smalțurilor coeficientul de dilatație al smalțului trebuie să fie egal cu al fierului sau al argilei pe care le acoperă, pentru că altfel, după ce se scot oalele din cuptor, smalțul plesnește.

Plăcile metalice se nituiesc la cald. Niturile sînt încălzite la roșu și cînd se răcesc strîng puternic plăcile (fig. 86).

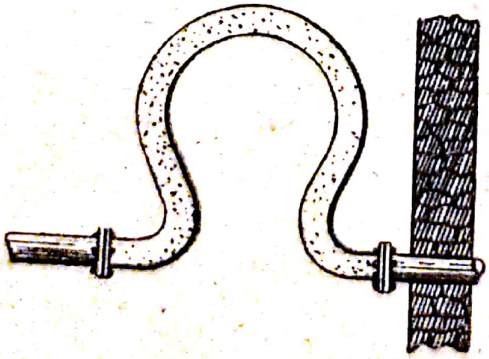

Fig. 85. — Tub de metal cu buclă

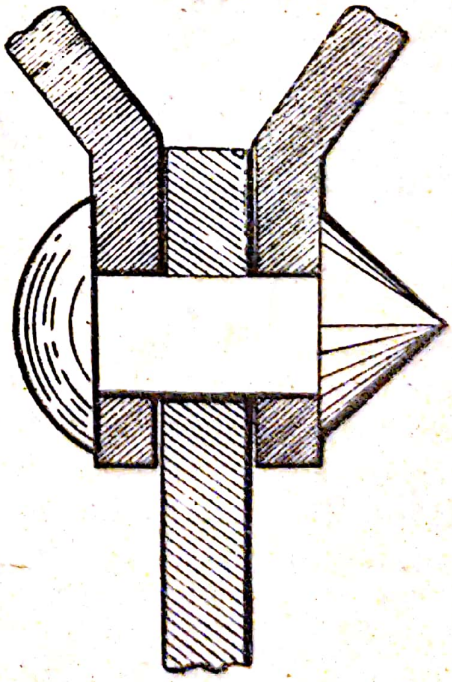

Fig. 86. — Nituirea plăcilor.

Fixarea cercului de fier pe roata de lemn pentru căruțe se face la cald pentru ca prin răcire să strîngă bine obada.

Piesele de precizie care se lucrează la strung se încălzesc în timpul lucrului și se lungesc; de aceea, strungarul trebuie să verifice dimensiunile și temperatura piesei în timpul lucrului.

Pentru a se menține constantă lungimea pendulului și deci pentru a păstra constantă perioada de oscilație, se construiește tija pendulului din invar, aliaj cu coeficient de dilatație neglijabil. La ceasornice, menținerea constantă a perioadei de oscilație a balansierului se face folosind dispozitivul din *lame bimetalice* (fig. 87). Aceasta constă din două lame cu coeficienți de dilatație diferiți, de exemplu cupru și fier, care sînt lipite una de alta fie prin sudură, fie prin nituri (fig. 88, *a*). La 0°C, lamele au aceeași lungime.

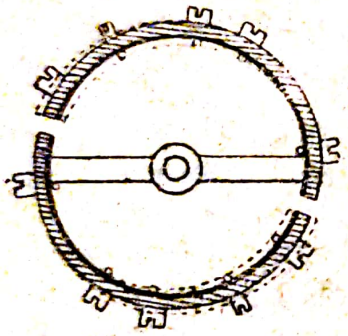

Fig. 87. — Balansier de ceasornic.

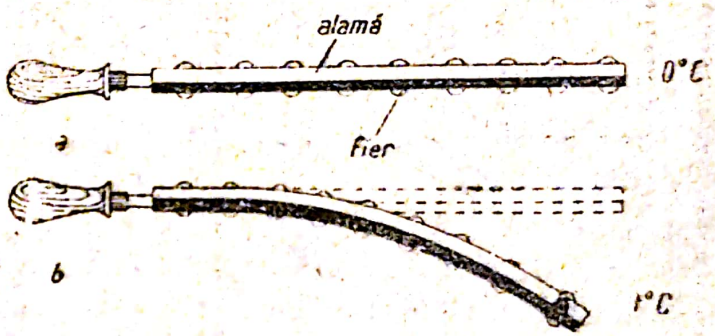

Fig. 88. — Lame bimetalice.

Cînd crește temperatura, alama se dilată mai mult decît fierul și lama se curbează ca în figura 88, *b*. Cînd temperatura scade, curbura se face în sens invers. Acest principiu este aplicat la ceasornice astfel:

Balansierul ceasornicului este format din 2 semicercuri din lame bimetalice, libere la un capăt și prevăzute cu greutăți suplimentare. Cuprul este în exterior și fierul în interior. Cînd temperatura crește, capetele libere ale semicercurilor se îndoaie spre centru. Cînd temperatura scade, efectul este invers, încît diametrul și, o dată cu el, perioada de oscilație rămîn aceleași.

Lama bimetalică se aplică la reglarea automată a temperaturii în cuptoarele electrice sau termostate. Prin deformarea lamei se produce un contact electric care face să sune o sonerie cînd temperatura depășește o anumită limită sau întrerupe curentul de încălzire a cuptorului.

Scanned with OKEN Scanner

Cînd lama bimetalică se curbează, se întrerupe contactul în C, și temperatura cuptorului sau a termostatului nu mai crește. În figura 89 se vede că, dacă temperatura crește, lama devine cu concavitatea în sus și se stabilește contactul în C, iar soneria sună, dînd alarma că temperatura este prea ridicată.

Termometrul metalic, a cărui schemă se vede în figura 90, se bazează tot pe principiul lamei bimetalice. Cînd temperatura crește, spirala se desface și acul se mișcă în fața cadranului gradat. Termometrul metalic se etalonează prin comparație cu un termometru cu mercur.

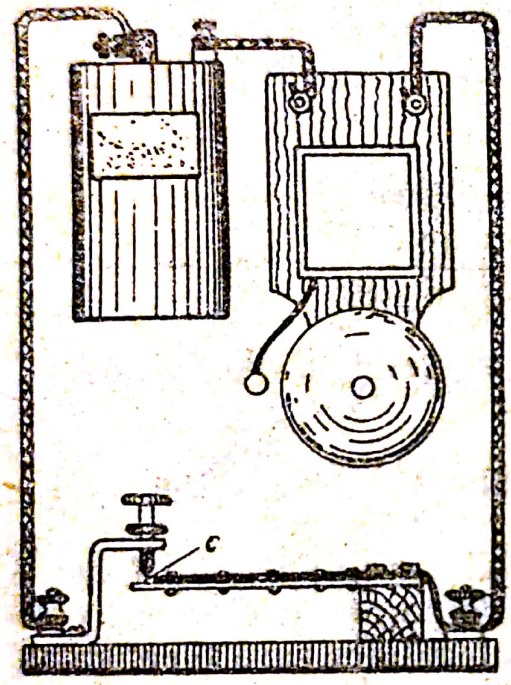

Fig. 89. — Principiul reglării temperaturii unui termostat.

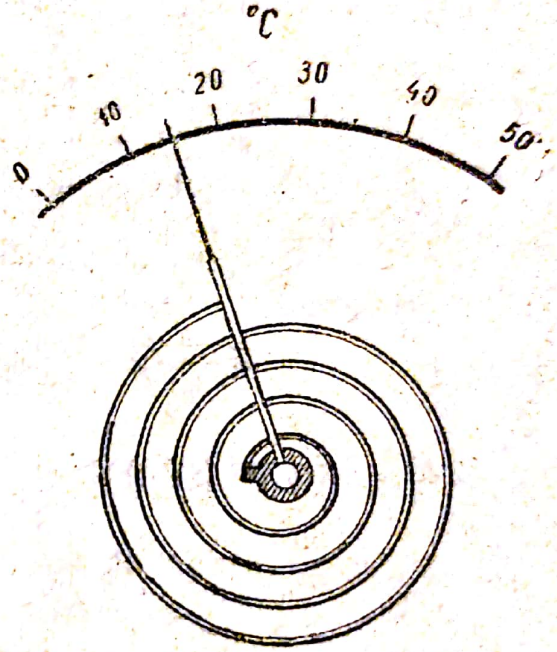

Fig. 90. — Termometru metalic.

Problemă rezolvată. Un pod de fier cu lungimea de 50 m la 15°C are unul din capete fixat, iar celălalt capăt este așezat pe role cilindrice. Să se calculeze cu cît variază lungimea podului între cea mai ridicată temperatură, 45°C, pe care o are vara, și cea mai coborîtă temperatură dintr-o noapte geroasă de iarnă, adică —30°C.

Rezolvare. Se dau:

$l = 50$ m
$t = 15°C$
$t_1 = 45°C$
$t_2 = -30°C$

Se cere $l_1 - l_2 = ?$

Notăm cu l_1 și l_2 lungimile podului la temperaturile t_1, respectiv, t_2, și calculăm: $l_1 - l_2$.

Scanned with OKEN Scanner

Se aplică formula dilatării (31) pentru temperaturile t, t_1, t_2 și se obține:

$$l = l_0 (1 + \alpha t)$$
$$l_1 = l_0 (1 + \alpha t_1)$$
$$l_2 = l_0 (1 + \alpha t_2),$$

unde l_0 este lungimea podului la 0°C. Împărțind membru cu membru se obține:

$$\frac{l}{l_1} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1}, \text{ de unde } l_1 = \frac{l(1 + \alpha t_1)}{1 + \alpha t}$$

$$\frac{l}{l_2} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_2}, \text{ de unde } l_2 = \frac{l(1 + \alpha t_2)}{1 + \alpha t}.$$

Atunci: $l_1 - l_2 = \frac{l}{1 + \alpha t}(1 + \alpha t_1 - 1 - \alpha t_2)$

sau: $l_1 - l_2 = \frac{l\alpha(t_1 - t_2)}{1 + \alpha t}$.

Introducînd datele problemei se obține:

$$l_1 - l_2 = \frac{50 \text{ m } 0{,}000\,012 \cdot 75}{1 + 0{,}000\,012 \cdot 15}$$

$$l_1 - l_2 = \frac{0{,}045 \text{ m}}{1{,}00018} = 0{,}0449 \text{ m} = 4{,}49 \text{ cm}.$$

TERMOMETRE ȘI TERMOMETRIE

80. **Temperatura corpurilor.** La studiul teoriei cinetico-moleculare (§ 53) s-a văzut că temperatura unui corp este determinată de viteza medie a moleculelor care îl constituie. În cazul gazelor, aceste particule se mișcă dezordonat, cu o viteză medie care este cu atît mai mare, cu cît temperatura este mai ridicată, și invers.

Deoarece viteza de mișcare a moleculelor unui gaz poate fi mărită pînă la valori foarte mari, se pot obține temperaturi foarte înalte. Se presupune că în interiorul stelelor temperatura este de milioane de grade.

Însă micșorarea vitezei nu poate coborî decît pînă la o anumită limită, cînd mișcarea de agitație termică încetează. Deci există o temperatură minimă, dedesubtul căreia un corp nu mai poate fi răcit. Este temperatura de —273,15°C, numită *zero absolut*. La zero absolut, mișcarea de agitație termică a moleculelor dispare, dar rămîn mișcările particulelor din interiorul atomilor, mișcări care nu mai depind de temperatură.

Scanned with OKEN Scanner

Aprecierea stării de încălzire, adică a temperaturii unui corp, este cu totul subiectivă, deoarece simțurile omului sînt subiective. Senzația de cald sau rece a unui corp este apreciată diferit chiar de aceeași persoană. Se poate constata aceasta din următoarea experiență:

Se vîră o mînă într-un vas cu apă caldă și cealaltă mînă într-un vas cu apă rece. Se țin în apă timp de un minut, apoi se introduc deodată ambele mîini în apa de la robinet. Mîna care a fost în apă caldă are senzația de rece, iar cea care a fost în apă rece are senzația de cald, deși amîndouă sînt acum la aceeași temperatură.

Un rol important în aprecierea temperaturii are și conductibilitatea termică a corpurilor. Într-o cameră corpurile au aceeași temperatură, totuși obiectele de metal le simțim mai reci, iar obiectele de lemn le simțim mai calde cînd le atingem cu mîna.

Pe de altă parte, frigul intens, ca și căldura intensă produc aceeași senzație dureroasă de arsură.

Așadar nu ne putem bizui pe simțurile noastre pentru a determina temperatura corpurilor.

Termometria se ocupă cu măsurarea precisă a temperaturii corpurilor.

În acest scop se folosesc unele proprietăți ale corpurilor, care variază cu temperatura după legi cunoscute.

Astfel de proprietăți sînt: variația de volum, variația rezistenței electrice, variația forței electromotoare de contact între două metale etc.

Instrumentul cu ajutorul căruia se măsoară temperaturile se numește *termometru*.

81. **Termometre.** Termometrele obișnuite se bazează pe dilatația termică a corpurilor. Cu cît un corp e încălzit mai mult, cu atît el se dilată mai mult. De aceea, temperatura unui corp poate fi apreciată după creșterea lungimii sau a volumului său.

Solidele au coeficient de dilatație mic, de aceea la termometre se folosesc de obicei lichidele, iar pentru termometria de precizie, gazele. Cel mai des întrebuințat este termometrul cu mercur. Mercurul este cea mai bună substanță termometrică, deoarece se dilată mai regulat decît toate lichidele, pentru că are temperatură de fierbere ridicată (358°C) și pentru că, pus în contact cu alt corp, capătă mai repede temperatura acelui corp. Această ultimă proprietate se datorește, în primul rînd, faptului că mercurul este

Scanned with OKEN Scanner

metal și e mai bun conducător de căldură decît oricare lichid, iar în al doilea rînd, ia puțină căldură pentru a se încălzi, deoarece are căldura specifică mică. Mercurul mai are și calitatea de a putea fi obținut curat, precum și aceea că nu udă pereții tubului.

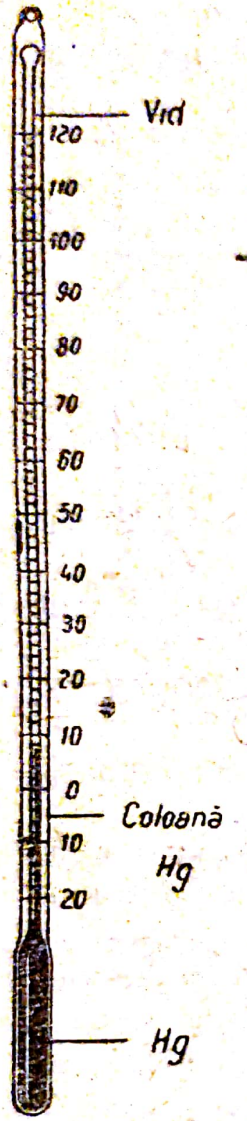

Fig. 91. — Termometru cu mercur.

Termometrul cu mercur este format dintr-un tub capilar de sticlă, terminat în partea de jos cu un rezervor. Rezervorul și partea inferioară a tubului sînt pline cu mercur. Deasupra mercurului în tubul capilar se află un spațiu vid. Cînd rezervorul este încălzit, lichidul se dilată și se ridică în tub (fig. 91). Cînd e răcit, se contractă și coboară. Pentru a determina temperatura unui corp oarecare cu ajutorul termometrului, se pune rezervorul termometrului în contact cu acel corp și se așteaptă pînă cînd se obține echilibrul de temperatură. În acest moment, temperatura corpului este egală cu cea a termometrului.

Pentru a măsura temperaturile a trebuit să se aleagă o unitate de măsură: gradul de temperatură. În prezent sînt folosite 3 unități de măsură pentru temperaturi: gradul Celsius (sau centesimal), gradul Réaumur și gradul Fahrenheit, după numele fizicienilor care le-au propus.

Temperaturile nu se pot măsura decît dacă termometrele sînt gradate în una din unitățile de mai sus. La gradarea unui termometru trebuie ales un punct fix (o anumită temperatură), de unde se începe măsurarea temperaturii, care este temperatura de *zero grade* și care se notează cu cifra *zero*.

După cum se alege temperatura de zero grade și după felul unității de măsură (grad Celsius, Réaumur sau Fahrenheit), gradarea termometrelor se poate face după așa-numite *scări termometrice*.

Sînt trei scări termometrice: scara Celsius sau centigradă, scara Réaumur și scara Fahrenheit. În scara Celsius (cea mai întrebuințată) se ia ca punct zero al termometrului temperatura unui amestec de apă cu gheață la presiunea atmosferică normală, iar ca punct 100°C, temperatura vaporilor de apă care fierbe sub presiune normală. Pentru a

Scanned with OKEN Scanner

se face gradarea tubului, se introduce rezervorul termometrului într-un vas cu gheață care se topește și se notează 0°C nivelul stabilizat al mercurului (fig. 92). Apoi se introduce rezervorul termometrului în vapori de apă care fierbe sub presiune normală și se notează cu 100°C nivelul mercurului. Se împarte în 100 de diviziuni egale lungimea tubului cuprinsă între aceste două semne. Fiecare diviziune corespunde unui *grad centigrad* sau *centesimal*. Sub 0°C temperatura este socotită ca negativă, iar deasupra lui 0°C este socotită ca pozitivă.

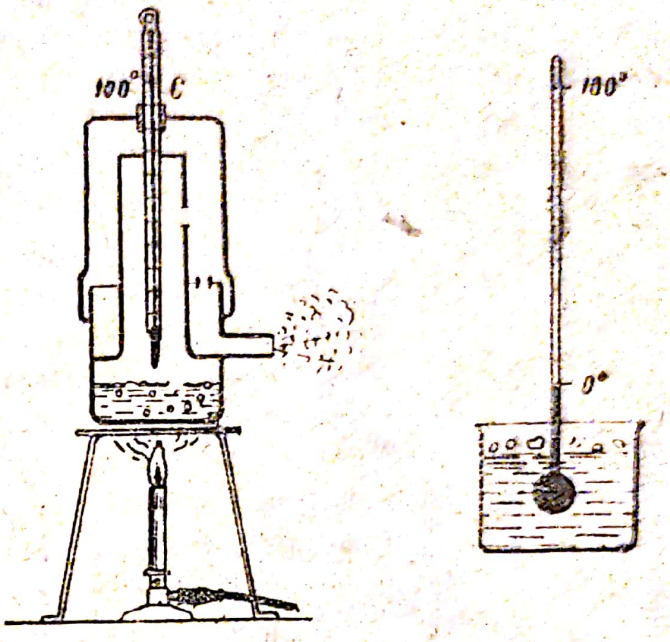

Fig. 92. — Gradarea termometrului.

În scara Réaumur, cele două puncte fixe ale termometrului sînt notate cu 0°R și 80°R (fig. 93).

În scara Fahrenheit, ele sînt notate cu 32°F și 212°F.

Pentru a transforma o temperatură Celsius t_C în grade Réaumur t_R sau Fahrenheit t_F, se folosește următoarea relație:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_R}{4} = \frac{t_F - 32}{9},$$

care se poate deduce ușor cu ajutorul figurii 93.

Pentru termometrele obișnuite, în care se folosește dilatarea unui lichid (mercur, alcool, toluen), s-au ales arbitrar aceste 2 puncte fixe — temperatura de topire a gheții și temperatura de fierbere a apei. Însă domeniul de temperaturi realizat în tehnică este foarte întins, și pentru gradarea termometrelor de precizie pentru temperaturi foarte joase sau foarte înalte s-au admis și alte puncte fundamentale. De exemplu: temperatura de fierbere a oxigenului −182,97°C, temperatura

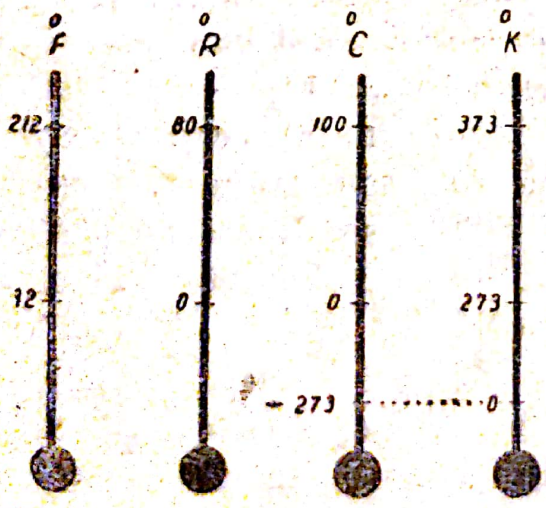

Fig. 93. — Scări termometrice.

de fierbere a sulfului 444,60°C, temperatura de topire a stibiului 630,5°C, temperatura de topire a argintului 960,8°C, temperatura de topire a aurului 1 063°C. Limita inferioară a temperaturilor scăzute este zero absolut, adică — 273,15°C. Scara care ia ca origine a temperaturilor zero absolut se numește *scară absolută* sau scara Kelvin. Ea folosește aceeași unitate de măsură ca și scara Celsius (gradul centesimal), dar punctul zero este altul. Temperatura absolută este temperatura socotită de la zero absolut. Se notează cu $t°$ temperatura exprimată în grade Celsius și cu $T°$ temperatura exprimată în grade absolute. Între ele există relația $T°K = 273{,}15° + t°C$. Scara temperaturilor absolute, numită și scara termodinamică, este cea mai întrebuințată în termotehnică.

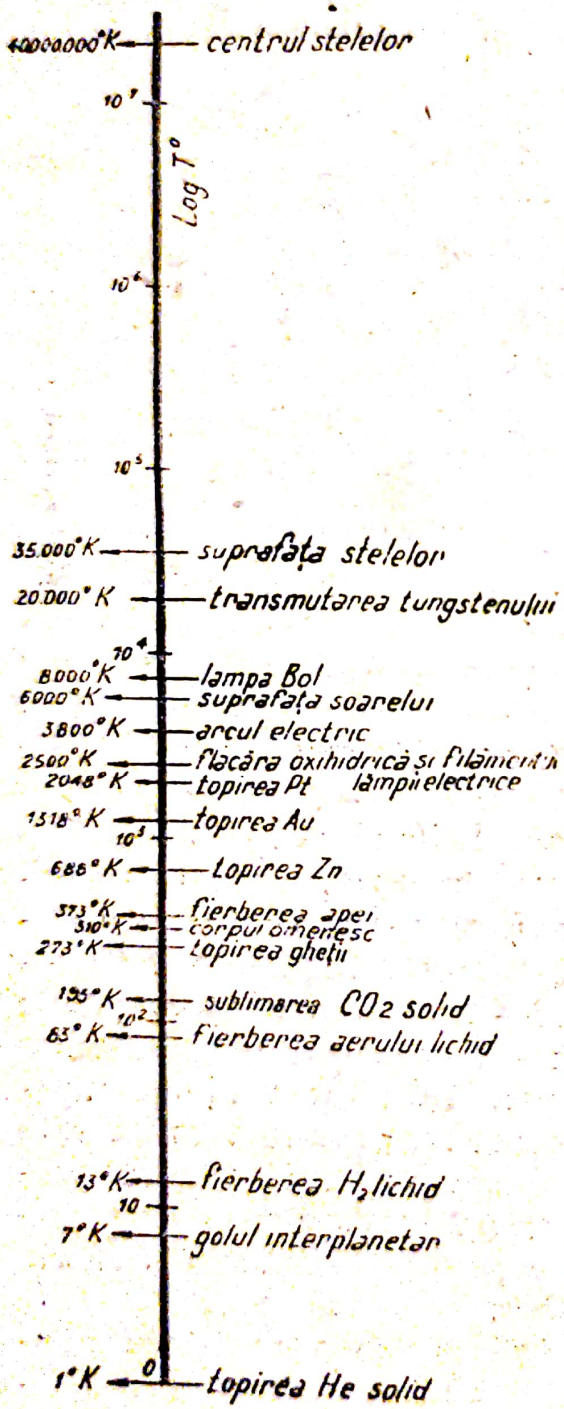

Fig. 94. — Scara comparativă pentru diferite temperaturi.

În scara temperaturilor absolute, apa îngheață la 273,15°K și fierbe la 373,15° K. Figura 94 arată cîteva din temperaturile interesante în fizică, măsurate în grade absolute.

82. **Alte termometre.** Termometrele cu mercur pot fi folosite numai pînă la —39°C, cînd mercurul se solidifică. Sub —39°C se înlocuiește mercurul cu alcool sau toluen. Sub —100°C se folosește pentanul ca substanță termometrică.

Aceste lichide udă sticla, ceea ce face ca citirea nivelului să nu fie exactă. Dintre lichide, mercurul

are dilatația cea mai regulată. Coeficientul lui de dilatație variază foarte puțin cu temperatura. Din această cauză se poate împărți în 100 de părți *egale* coloana cuprinsă între cele 2 temperaturi fixe: 0°C și 100°C. Nu tot așa stau lucrurile cu alte lichide, de exemplu cu alcoolul. Coeficientul de dilatație al alcoolului variază sensibil cu temperatura, ceea ce face ca dilatația să fie mai puțin regulată decît a mercurului. Din această cauză, dacă se împarte lungimea coloanei de alcool, cuprinsă între punctele 0°C și 100°C, în 100 de părți egale, fiecare dintre ele nu mai corespunde la variații de temperatură de 1°C (fig. 95). De aceea, etalonarea termometrului cu alcool se face prin comparare, grad cu grad, cu termometrul cu mercur.

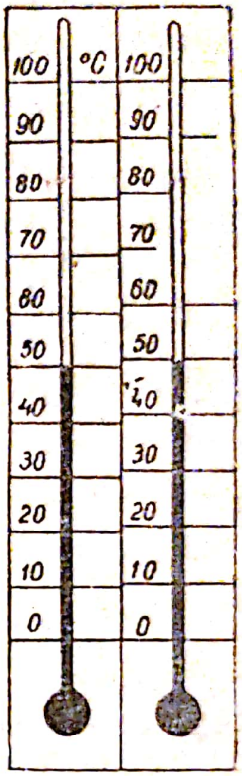

Fig. 95. — Comparație între indicațiile a două termometre cu lichid.

În general, termometrele cu lichid prezintă unele neajunsuri, care fac să se producă erori la măsurarea temperaturilor. De exemplu, tubul capilar nu poate fi perfect calibrat (adică nu are peste tot același diametru), sticla se dilată diferit etc. De aceea termometrele cu lichid nu sînt foarte precise.

S-a făcut un mare progres în determinarea precisă a temperaturilor prin folosirea termometrului cu gaz. Gazele (aer, hidrogen, heliu sau azot) prezintă avantajul unui coeficient de dilatație ridicat.

Pentru anumite domenii de temperatură se folosesc termometre bazate pe alte fenomene decît dilatația. Între —190°C și 660°C se folosesc *termometrele cu rezistență* de platină, la care rezistența electrică a firului de platină este direct proporțională cu temperatura. Termometrele cu rezistență sînt foarte sensibile la variații foarte mici de temperatură.

O altă metodă pentru stabilirea temperaturii cuptoarelor constă în utilizarea unor corpuri din ceramică, care se topesc la anumite temperaturi. Sînt cunoscute sub numele de conuri Seger.

Pentru a controla rapid temperatura de încălzire a unei piese complicate, de exemplu cilindrul unui motor de avion, se folosesc în tehnică substanțe termocolore. Vopsind

corpul a cărui temperatură vrem s-o aflăm cu creioane din aceste substanțe, culorile căpătate arată temperatura corpului.

83. **Termometrul medical** este un termometru de maximă. Are o scară redusă între 35° și 42°C, gradată prin comparație. Fiecare grad este divizat în 10 părți egale, deci precizia este de $\frac{1}{10}$ de grad. Tubul capilar prezintă o strangulare lîngă rezervor. De aceea, cînd temperatura crește, mercurul se ridică ușor în tub, iar cînd temperatura scade, el nu se mai poate întoarce la loc. În felul acesta, coloana de mercur nu se retrage și citirea temperaturii se poate face ușor. Pentru a-l readuce la starea inițială, trebuie scuturat puternic.

84. **Termometrele înregistratoare.** Ca și barometrele înregistratoare, acestea înscriu pe o bandă de hîrtie o curbă care arată variația de temperatură într-un anumit timp.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Definiți coeficientul de dilatație liniară și, din formula lui, deduceți formula dilatației.
2. Cum se nasc forțele de dilatație? Ce rol joacă ele în tehnică?
3. Arătați legătura dintre coeficientul de dilatație liniară și cel de dilatație în volum.
4. Ce este dilatația reală și ce este dilatația aparentă?
5. Ce importanță prezintă dilatația neregulată a apei între 0°C și 4°C?
6. Arătați aplicațiile tehnice ale dilatației.
7. Care sînt punctele fixe ale termometrului și cum se stabilesc ele?
8. Arătați diferite feluri de termometre folosite în practică.

PROBLEME

1. Cîte grade Celsius și cîte grade Kelvin fac 20°R, —10°R, 104°F și —15°F?

Răspuns: 25°C; —12,5°C; 40°C; —26,11°C; 298,15°K; 260,65°K; 313,15°K; 247,04°K.

2. Să se exprime în scara temperaturilor absolute temperaturile de —273,15°C, —100°C, 0°C, 20°C și 200°C.

Răspuns: 0°K; 173,15°K; 273,15°K; 293,15°K; 473,15°K.

3. Cîte grade Fahrenheit fac 20°C, —20°C, 33°R și —24°R?

Răspuns: 68°F; —4°F; 106,25°F; —22°F.

4. Ce temperatură se exprimă prin același număr atît pe scara centesimală cît și pe scara Fahrenheit?

Răspuns: —40°.

Scanned with OKEN Scanner

5. Un ax de fier are lungimea de 60 cm la 0°C. Fiind încălzit într-un cuptor, se dilată cu 6,5 mm. Ce temperatură are cuptorul?

Răspuns: ≈ 912°C.

6. O piesă de precizie din alamă trebuie să aibă lungimea de 30 cm la 0°C. Dacă piesa se lucrează la 20°C, ce lungime trebuie să i se dea piesei în timpul lucrului?

Răspuns: 30,011cm.

7. Roata unei locomotive are raza de 1 m la 0°C. Care este diferența dintre numărul de rotații ale acestei roți făcute vara la 25°C și iarna la —25°C, pe un drum de 100 km. Roata este din fier.

Răspuns: ≈ 9,5.

8. S-a măsurat o lungime la 20°C cu ajutorul unui metru din oțel etalonat la 0°C și s-a găsit 1 850,5 m. Care este valoarea reală a lungimii măsurate?

Răspuns: ≈ 1 851 m.

9. O bară de cupru lungă de 1 m la 0°C este fixată la un capăt, iar capătul liber este sprijinit pe o rotiță foarte mobilă, cu raza de 2 mm. Axul rotiței este fix și așezat perpendicular pe lungimea barei de cupru. Cu cîte grade se rotește rotița, dacă bara se încălzește la 100°C?

Răspuns: 48,7°.

10. Se toarnă petrol în 2 vase comunicante *A* și *B*. Ramura *A* este menținută la temperatura constantă de 0°C, iar înălțimea coloanei de petrol este de 40 cm.

La ce temperatură trebuie să se găsească ramura *B*, pentru ca diferența de nivel între cele 2 ramuri să fie de 2 cm?

Răspuns: 52,08°C.

11. Într-un vas cu 20 kg de apă la 90°C se introduce o bară din fier la 0°C, avînd lungimea de 40 cm și secțiunea de 30 cm². Ce temperatură va avea bara în apă și ce volum va avea ea la această temperatură?

Răspuns: 85,2°C; 1 203,7 cm³.

PROPRIETĂȚILE CORPURILOR GAZOASE

85. **Transformări suferite de un gaz.** Pentru a putea preciza starea în care se găsește un gaz la un moment dat, este nevoie să se cunoască *volumul* pe care-l ocupă, *presiunea* pe care o exercită și *temperatura* lui. Acești trei factori se numesc *mărimi de stare* a gazelor sau **parametri de stare.** Este ușor de bănuit că aceste trei mărimi care determină starea unui gaz nu pot fi independente una de alta, ci sînt legate între ele printr-o relație, care poartă numele de *ecuație de stare* sau lege a gazului. Dacă mărimile de stare ale unui gaz variază de la o valoare la alta, spunem că gazul suferă o *transformare*. Prin anumite procedee, se poate menține constant unul din cei trei parametri, lăsînd să varieze numai

Scanned with OKEN Scanner

pe ceilalți doi. Transformarea gazului în acest caz se numește *simplă*. De exemplu, menținînd temperatura constantă și variind presiunea și volumul, gazul suferă o transformare simplă, numită **izotermă**.

În cursul transformărilor de stare, gazul poate sau să absoarbă căldura din exterior, sau să o cedeze în exterior. Dacă transformarea se face fără ca gazul să schimbe căldura cu exteriorul, transformarea se numește **adiabatică**. Pentru ca transformarea să fie adiabatică, trebuie sau ca pereții vasului în care se găsește gazul să fie izolatori termici perfecți, sau ca transformarea să se facă brusc pentru ca să nu aibă timp căldura să treacă prin pereții vasului. În cele ce urmează vom studia transformările simple ale gazelor și apoi transformarea lor în cazul general, cînd variază mai mulți parametri. Bineînțeles, vor fi studiate **gazele perfecte**, adică **gaze aflate în condiții care permit să se neglijeze volumul propriu al moleculelor și interacțiunile dintre ele.**

86. **Explicarea cinetică a legii Boyle și Mariotte.** Una din transformările simple ale gazelor este comprimarea sau destinderea lor, la temperatura constantă, adică transformarea lor izotermă. Am văzut (§ 24) că, în acest caz, *produsul dintre presiune și volumul unei mase de gaz se menține constant în tot timpul transformării* (legea Boyle și Mariotte).

Cum se explică această lege pe baza teoriei cinetico-moleculare? Considerăm o masă de gaz închisă într-un cilindru cu piston (fig. 96, *a*), aflată la un volum V_0, o presiune p_0 și temperatura absolută $T_0 = 273°K$. Mărim încet presiunea, punînd greutăți pe piston pînă cînd valoarea ei se dublează, $p = 2p_0$. Se constată că volumul se reduce la jumătate $V = \frac{V_0}{2}$ (fig. 96, *b*). Deoarece masa de gaz a rămas aceeași, în starea finală, gazul este format din același număr de molecule ca și în starea inițială, însă în fiecare unitate de volum se găsesc de două ori mai multe molecule decît în starea inițială. Prin urmare, pereții cilindrului vor fi ciocniți cu aceeași viteză (tempe-

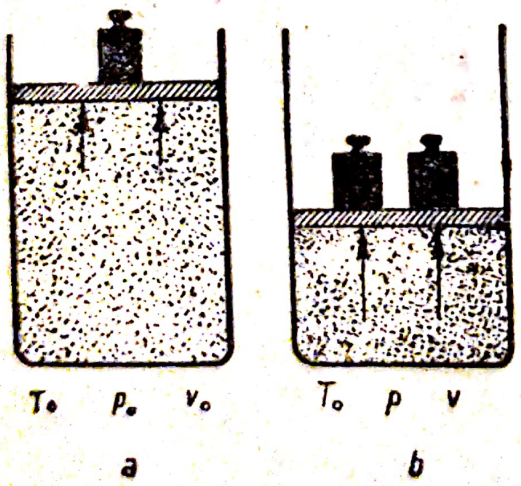

Fig. 96. — Cilindru cu gaz la temperatura constantă.

ratura fiind constantă), însă cu un număr dublu de ciocniri pe secundă, adică presiunea gazului va deveni de două ori mai mare. Dacă volumul s-ar fi mărit de un număr oarecare de ori, numărul de molecule din fiecare centimetru cub s-ar fi micșorat de același număr de ori și deci presiunea s-ar fi micșorat tot de atîtea ori.

Dacă aceeași masă de gaz este adusă la o altă temperatură T și apoi este supusă unui șir de transformări izoterme, legea Boyle și Mariotte este valabilă și la această temperatură.

87. **Legea Gay-Lussac.** O altă transformare simplă a unui gaz perfect este încălzirea sau răcirea gazului sub presiune constantă $p = p_0$, transformare care se numește *izobară*. În acest caz, variază volumul gazului atunci cînd temperatura variază.

Experiență. Într-un balon de sticlă B (fig. 97), se închide un volum V_0 de aer. Printr-un tub lateral îngust, balonul comunică cu un manometru deschis MN. Ramura exterioară N a acestuia poate fi deplasată vertical, deoarece este legată de cealaltă ramură printr-un tub de cauciuc C. Balonul B este așezat într-un vas cu apă și gheață a cărei temperatură inițială $t_0 = 0°C$ este citită la un termometru T. Prin deschiderea și închiderea robinetului R se egalează presiunea aerului închis în interior cu aceea din exterior, încît nivelul mercurului să fie același în ambele ramuri M și N ale manometrului (fig. 97, *a*). Acest nivel se citește pe rigla gradată verticală L. Se încălzește cu cîteva grade apa din vas, pînă cînd temperatura devine t. Prin încălzire, aerul se dilată și se produce o denivelare a mercurului din ramurile M_1 și N_1 ale manometrului (fig. 97, *b*). Se coboară încet ramura deschisă N a manometrului, pînă cînd nivelul este același M_2N_2 (fig. 97, *c*) în ambele ramuri. Aceasta înseamnă că aerul din balon are aceeași presiune ca la

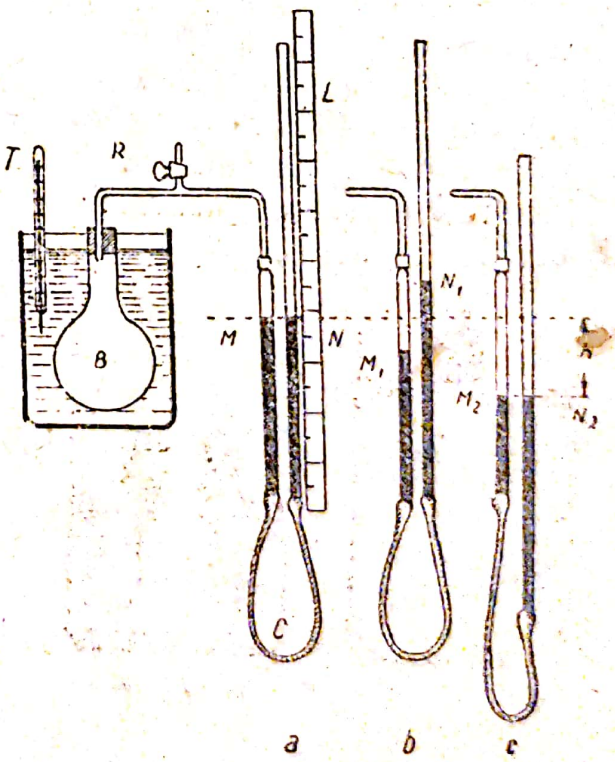

Fig. 97.—Aparat pentru verificarea legii Gay-Lussac.

început (presiunea atmosferică), adică gazul s-a încălzit sub presiune constantă (izobar). Denivelarea h față de poziția inițială MN arată creșterea volumului V prin încălzire, adică dilatarea volumului V_0 de gaz, cînd a fost încălzit cu $t - t_0$ grade sub presiune constantă. Deoarece tubul manometrului a fost în prealabil calibrat, adică s-a determinat ce volum corespunde unei lungimi de 1 cm pe tub, din valoarea denivelării h se poate deduce ușor valoarea creșterii de volum.

Creșterea de volum reprezintă cantitatea cu care s-a dilatat izobar volumul V_0 inițial de gaz la încălzirea cu $t - t_0$°C. Coeficientul de dilatație sub presiune constantă a gazului α_p va fi cantitatea cu care s-a dilatat unitatea de volum pentru o încălzire de 1°C, deci se va putea scrie:

$$\boxed{\alpha_p = \frac{V - V_0}{V_0(t - t_0)}.} \qquad (35)$$

Experiențe numeroase făcute cu multe gaze au arătat că *coeficientul de dilatație al gazelor sub presiune constantă are aceeași valoare pentru toate gazele*:

$$\boxed{\alpha_p = 0{,}00367 = \frac{1}{273{,}15}.} \qquad (36)$$

Din relația (35), luîndu-se ca temperatură inițială temperatura de 0°C, se deduce *legea Gay-Lussac* a transformării izobare a gazelor:

$$\boxed{V = V_0(1 + \alpha_p t).} \qquad (37)$$

Dacă se reprezintă grafic această lege în coordonate Clapeyron (p-V), se obține o linie dreaptă AB, paralelă cu axa volumelor (fig. 98).

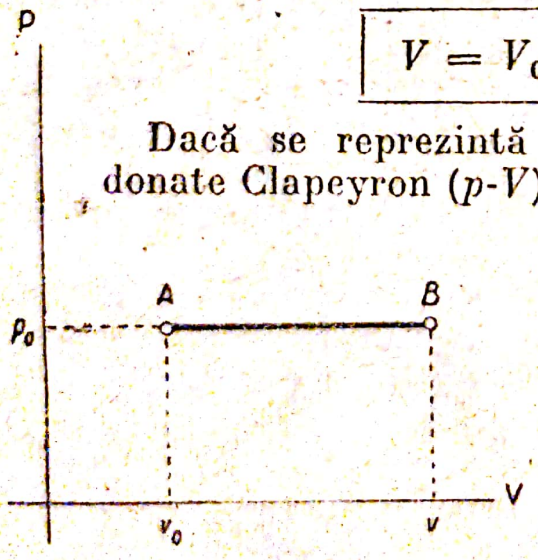

Fig. 98. — Diagrama izobarei.

Se observă că gazele se dilată mai mult decît lichidele și mult mai mult decît solidele. Coeficientul de dilatație al gazelor este de 20 de ori mai mare decît coeficientul

de dilatație al mercurului și de 220 de ori mai mare decît coeficientul de dilatație al cuprului.

Legea Gay-Lussac poate fi exprimată și în funcție de temperatura absolută. Din relația (37) dăm pe α_p ca factor comun și obținem:

$$V = V_0\,\alpha_p\left(\frac{1}{\alpha_p} + t\right) = V_0\alpha_p(273{,}15^\circ + t^\circ).$$

Deoarece $\alpha_p = \frac{1}{273{,}15^\circ}$ și întrucît 273,15° este tocmai T_0, adică temperatura absolută de topire a gheții, atunci paranteza $(273{,}15^\circ + t^\circ)$ este tocmai temperatura absolută T a gazului încălzit. Deci se poate scrie:

$$V = V_0\alpha_p T$$

și deoarece:

$$\alpha_p = \frac{1}{T_0}$$

rezultă că:

$$\boxed{\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0},} \qquad (38)$$

adică *volumul gazului variază proporțional cu temperatura absolută*. Pe baza teoriei cinetico-moleculare se poate explica și legea Gay-Lussac. Prin încălzirea gazului, crește viteza medie moleculară, deci pereții sînt ciocniți mai energic. Pentru ca presiunea să rămînă constantă, urmează că trebuie să scadă numărul de molecule în fiecare centimetru cub, adică să crească volumul gazului.

88. **Încălzirea gazelor sub volum constant. Legea lui Charles.** Altă transformare simplă a gazelor este încălzirea lor sub volum constant, adică *transformarea izocoră*. În acest caz, presiunea gazului variază în funcție de temperatură.

E x p e r i e n ț ă. Se folosește dispozitivul experimental de la transformarea izobară, dar se modifică procedeul. Se reglează la început același nivel MN al mercurului în cele două ramuri ale manometrului deschis, încît presiunea gazului să fie egală cu presiunea atmosferică p_0, citită la barometru (fig. 99, *a*), cînd temperatura este 0°C. Se încălzește gazul cu un număr de grade t°. Gazul se dilată și produce o denivelare a mercurului M_1N_1 (fig. 99, *b*).

Scanned with OKEN Scanner

După ce s-a stabilizat temperatura, se ridică ramura deschisă a manometrului, pînă cînd nivelul mercurului M_2 în ramura închisă (fig. 99, *c*) este adus la nivelul inițial M, adică gazul are la sfîrșitul încălzirii același volum ca și la început. În schimb, presiunea lui a crescut cu valoarea $h = p - p_0$ dată de denivelarea M_2N_2. Prin urmare, presiunea masei de gaz închisă în balon a crescut cu o cantitate $p - p_0$ cînd gazul a fost încălzit cu t°C, menținînd volumul constant. Coeficientul de variație al presiunii sub volum constant α_v al gazului va fi:

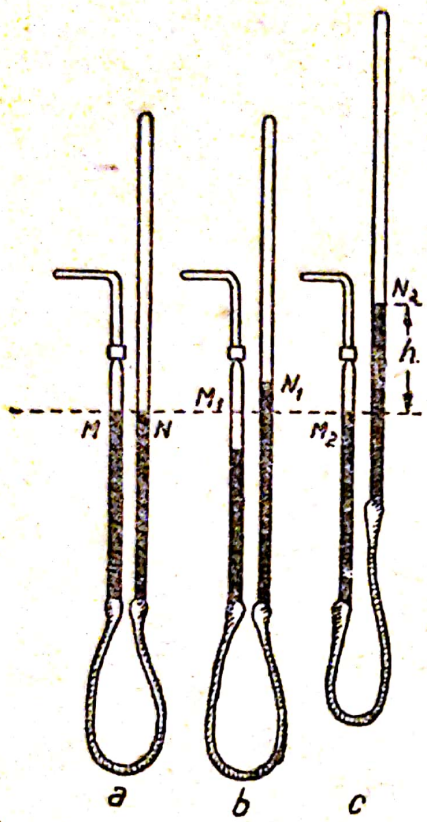

Fig. 99. — Aparat pentru încălzirea sub volum constant.

$$\boxed{\alpha_v = \frac{p - p_0}{p_0 t}.} \qquad (39)$$

Numeroase experiențe făcute cu diferite gaze au arătat că **coeficientul de variație al presiunii gazelor sub volum constant are aceeași valoare pentru toate gazele și este egal cu coeficientul de dilatație al gazelor sub presiune constantă:**

$$\boxed{\alpha = \alpha_v = \alpha_p = \frac{1}{273{,}15}.} \qquad (40)$$

Se deduce, ca mai înainte, că **legea transformării izocore** a gazelor, adică legea lui Charles, este:

$$\boxed{p = p_0(1 + \alpha t),} \qquad (41)$$

dacă se ia ca temperatură inițială temperatura 0°C. Reprezentînd grafic această lege în coordonate $p - V$, se obține o dreaptă AB paralelă cu axa presiunilor (fig. 100). Se poate exprima această lege în funcție de temperatura absolută, dînd pe α ca factor comun în expresia de mai sus:

$$p = p_0\alpha\left(\frac{1}{\alpha} + t\right) = p_0\alpha(273{,}15 + t) = p_0\alpha T, \text{ sau:}$$

$$p = p_0\frac{T}{T_0}, \text{ adică:}$$

$$\boxed{\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0}} \qquad (42)$$

presiunile unei mase de gaz încălzite sub volum constant sînt proporționale cu temperaturile absolute. Se poate explica ușor această lege cu ajutorul teoriei cinetico-moleculare.

Prin încălzire crește viteza medie a moleculelor, și deci, deși numărul de molecule din unitatea de volum rămîne același, presiunea gazului va fi mai mare, deoarece impulsul dat peretelui de acele molecule va fi mai mare.

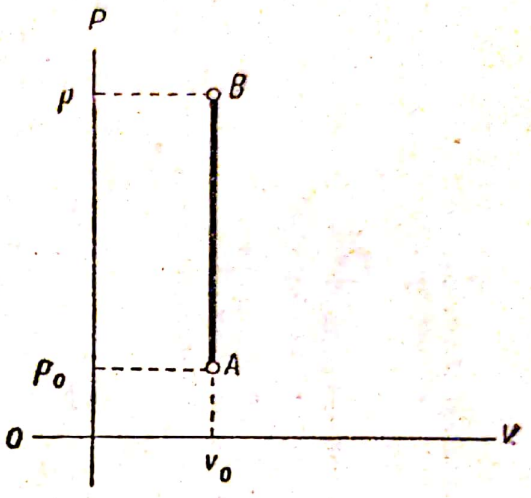

Fig. 100. — Diagrama izocorei.

89. **Legea gazelor perfecte.** Transformările studiate pînă aici au fost simple, adică fiecare din ele s-a realizat menținînd constant unul din cei trei parametri de stare a gazului, adică presiunea, volumul sau temperatura. În general însă transformările se fac modificîndu-se deodată toți cei 3 parametri de stare p, V și T. Transformarea gazului se face pornind de la o stare inițială A, adică de la anumite valori p_0, V_0, T_0 ale parametrilor și ajungînd la o stare finală B, în care parametrii au valorile p, V, T. A găsi ecuația de stare a gazului înseamnă a găsi relația care leagă între ei parametrii din starea finală cu cei din starea inițială. Pentru a ajunge la acest rezultat, se efectuează transformarea generală $A \rightarrow B$ a gazului prin două transformări simple, succesive, $A \rightarrow C \rightarrow B$ sau $A \rightarrow D \rightarrow B$. Prin urmare, se consideră că transformarea se face în două etape: prima etapă (fig. 101) pornește de la starea inițială dată A (p_0, V_0, T_0) și ajunge la o stare intermediară C printr-o transformare simplă, de exemplu izocoră; starea intermediară va fi deci o stare C (p_1, V_0, T).

Legea acestei transformări intermediare va fi dată de relația (42) aplicată în acest caz:

$$\boxed{\frac{p_1}{p_0} = \frac{T}{T_0}.} \qquad (43)$$

A doua etapă pornește de la starea intermediară C (p_1, V_0, T) și ajunge la starea finală B (p, V, T) (fig. 101)

printr-o transformare izotermă. Legea acestei transformări intermediare se va obține aplicînd legea Boyle și Mariotte:

$$pV = p_1V_0.$$

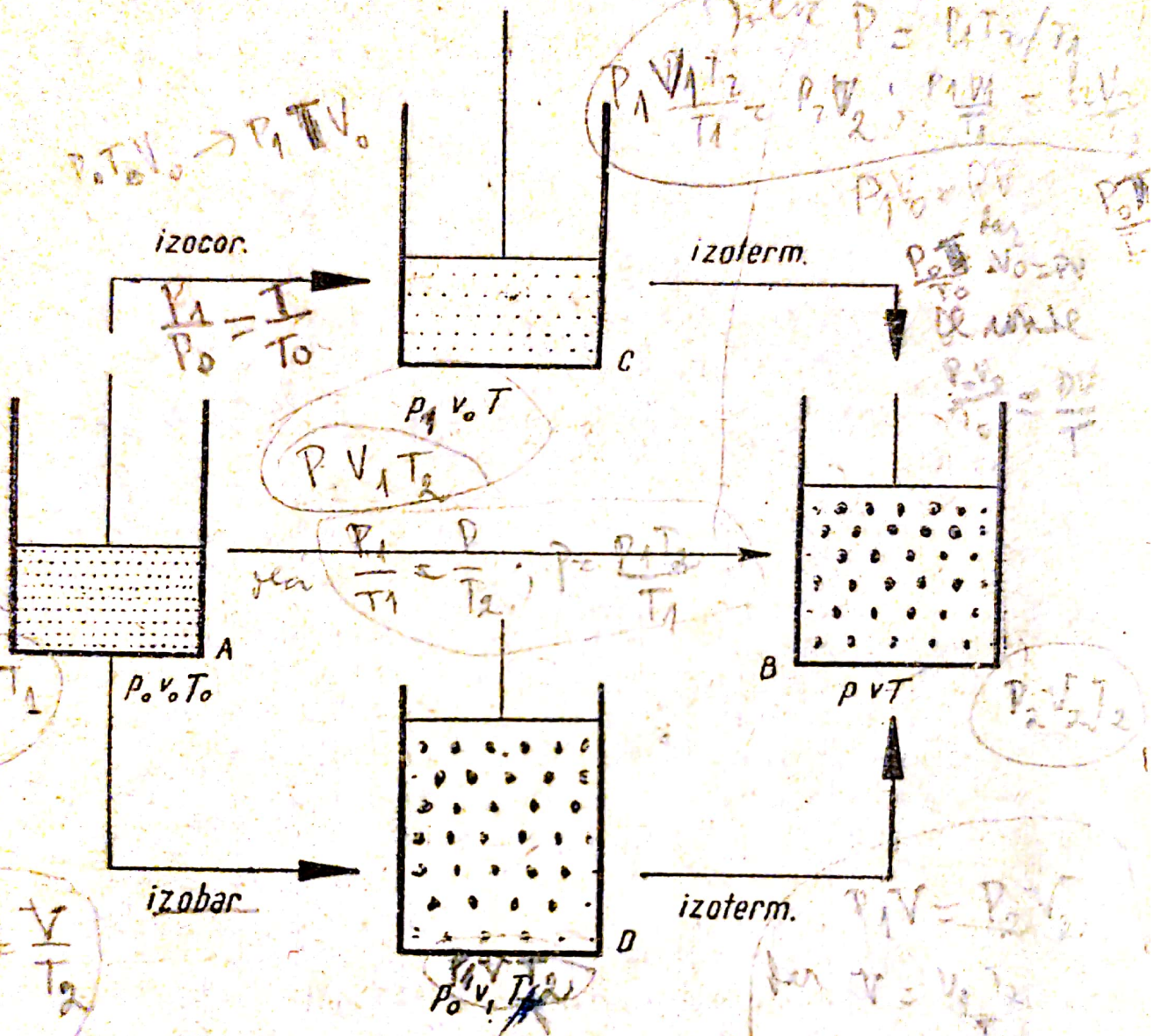

Fig. 101. — Schema transformărilor gazelor.

Înlocuind aici valoarea lui p_1 cu valoarea lui scoasă din formula (43), se obține tocmai ecuația căutată:

$$\boxed{\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}.} \qquad (44)$$

La același rezultat s-ar fi ajuns dacă prima etapă ar fi fost izobară $A \rightarrow D$ (fig. 101), iar a doua etapă ar fi fost izotermă $D \rightarrow B$. (Să se stabilească ecuația în aceste condiții.)

Scanned with OKEN Scanner

Ecuația gazelor perfecte găsită mai sus este valabilă pentru orice transformare a gazului, indiferent de modul cum evoluează gazul de la starea inițială la cea finală, cu condiția ca **masa de gaz supusă transformării să rămînă aceeași.**

Relația (44) **este valabilă pentru orice șir de transformări pe care le suferă succesiv o aceeași masă de gaz, oricare ar fi felul transformării:**

$$\frac{pV}{T} = \boxed{\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} = \ldots = \text{const.}} \qquad (45)$$

În ecuația de stare găsită mai sus se exprimă relația dintre parametrii de stare, fără să intervină valoarea masei de gaz.

Se poate găsi însă **o relație între parametrii de stare și masa de gaz.**

Volumul V_0 al gazului la presiunea p_0 și temperatura T_0 este volumul unei mase m de gaz. Se știe că volumul unui mol de gaz aflat la T_0 (adică 0°C) sub presiune normală $p_0 = 1$ atm se numește *volum molar* și are aceeași valoare V_m pentru orice gaz:

$$\boxed{V_m = 22\,441 \text{ cm}^3.} \qquad (46)$$

Atunci un volum oarecare V_0 în aceleași condiții va fi un multiplu al lui V_m:

$$\boxed{V_0 = nV_m,}$$

unde n reprezintă numărul de moli de gaz care formează masa m de gaz și este dat de $n = \frac{m}{M}$, unde M este masa moleculară a gazului.

Ecuația de stare (45) devine atunci:

$$\frac{pV}{T} = n\frac{p_0V_m}{T_0},$$

Dar expresia:

$$\boxed{\frac{p_0V_m}{T_0} = R} \qquad (47)$$

Scanned with OKEN Scanner

este o mărime constantă R. Ecuația de stare capătă formă nouă:

$$\boxed{pV = \frac{m}{M} RT.} \qquad (48)$$

Mărimea R este o **constantă universală, numită constanta gazelor perfecte.**

Dacă se exprimă presiunea în atmosfere și volumul în litri, atunci R are valoarea:

$$\boxed{R = \frac{1 \text{ atm } 22{,}4 \text{ l/mol}}{273° K} = 0{,}082 \frac{\text{l. atm}}{\text{mol.}° K}.} \qquad (49)$$

90. **Legea gazelor perfecte este generală.** Se poate sublinia caracterul general al legii gazelor perfecte, arătînd că din ea se pot deduce transformările simple ca niște cazuri particulare.

a) Dacă temperatura rămîne constantă $T = T_0$, ecuația gazelor perfecte (44) devine:

$$pV = \text{const.}$$

adică legea Boyle și Mariotte a transformării izoterme.

b) Dacă presiunea rămîne constantă $p = p_0$, atunci ecuația gazelor perfecte (44) devine (38), tocmai legea Gay-Lussac a transformării izobare.

c) Dacă volumul rămîne constant $V = V_0$, atunci ecuația gazelor perfecte (44) devine (42), tocmai legea lui Charles a transformării izocore.

Legea generală a gazelor perfecte a fost stabilită pentru gazele fără interacțiuni moleculare, pentru a ușura studiul lor. Ea poate fi aplicată gazelor, dacă acestea sînt la presiuni mici și temperaturi nu prea joase. Pentru a putea fi aplicată cu precizie și gazelor reale, trebuie să se aducă unele corecțiuni. Trebuie să se țină seamă de forțele de atracție dintre molecule, precum și de volumul moleculelor față de volumul vasului în care se găsește gazul, mărimi care fuseseră neglijate la stabilirea legii în cazul gazelor perfecte.

91. **Temperatura absolută.** Să considerăm că s-ar răci izocor un volum de gaz pînă la temperatura de —273,15°C. Cît ar deveni presiunea lui? Legea lui Charles ne dă:

$$p = p_0 \left(1 - \frac{1}{273{,}15} \cdot 273{,}15\right) = 0,$$

adică presiunea gazului ar deveni nulă, ceea ce înseamnă că la temperatura de $t = -273{,}15°C$, mișcarea de translație a moleculelor încetează (§ 53 și 81).

Această temperatură este numită *zero absolut*, deoarece o temperatură mai joasă decît ea n-ar putea exista. Prin urmare, corpurile pot fi încălzite oricît de mult, dar nu pot fi răcite decît pînă la o anumită limită pusă de existența temperaturii de zero absolut. Această temperatură a fost luată ca punct de plecare pentru o scară de temperaturi, numită *scara temperaturilor absolute* sau a gradelor Kelvin (°K).

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege prin transformarea simplă a unui gaz?
2. Cum se explică legea Boyle și Mariotte pe baza teoriei cinetico-moleculare?
3. Ce este o mărime sau parametru de stare?
4. Enunțați legile transformărilor simple și arătați diagrama lor.
5. Stabiliți ecuația gazelor perfecte.

PROBLEME

1. Volumul unei mase de gaz la 15°C și sub presiunea de 270 torr este de 30 cm³. La ce temperatură va deveni volumul de 45 cm³ sub presiunea de 350 torr?

Răspuns: 287°C.

2. Balonul din figura 97 se află la 0°C și conține hidrogen la presiunea normală de 760 torr. Introducînd balonul în vapori de apă care fierbe, se produce o denivelare a mercurului în cele două ramuri. Pentru a aduce volumul la valoarea inițială a trebuit ca nivelul mercurului din ramura deschisă să fie ridicat cu 27,9 cm deasupra nivelului mercurului din ramura închisă. Care este coeficientul de variație termică a presiunii gazului sub volum constant?

Răspuns: 0,00367.

3. Cîți moli conține un volum de 20 l de gaz, aflat la presiunea de 20 atm și temperatura de 10°C?

Răspuns: 17,3 moli.

4. Într-un balon de 6 l se găsesc 100 g de gaz sub presiunea de 9,3 atm și la temperatura de 26,27°C. Ce masă moleculară are gazul?

Răspuns: 44.

5. Cît cîntărește oxigenul închis într-un cilindru de 40 l, dacă la 0°C exercită o presiune de 25 atm?

Răspuns: 1,48 kg.

6. Într-un cilindru se află 12 l de aer la presiunea de 780 torr și temperatura de 20°C. Ce greutate are aerul și ce volum va avea la presiunea normală și 0°C?

Răspuns: 14,84 g; 11,4 l.

7. O pipetă cu lungimea l este cufundată 1/2 în mercur. Se închide cu degetul și se scoate din mercur. Care este lungimea h a coloanei de mercur care rămîne în pipetă, dacă presiunea atmosferică este H? Aplicație pentru $l = 30$ cm și $H = 780$ torr. (Indicație: se ține seama de legea Boyle și Mariotte și de suprafața de nivel hidrostatic.)

Răspuns: $h = \dfrac{H + l - \sqrt{H^2 + l^2}}{2}$; $h = 12{,}2$ cm.

Scanned with OKEN Scanner

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 3

Verificarea legii Boyle și Mariotte

Pentru a verifica legea Boyle și Mariotte, se poate folosi tubul Melde. Este un tub AD cu pereții groși, închis la un capăt A, avînd diametrul de 1—2 mm și lungimea de 60—90 cm, fixat pe o riglă de lemn, pe care este lipită hîrtie milimetrică (fig. 102). Cu ajutorul unei coloane de mercur BC de vreo 20 cm lungime, se închide în tub un volum de aer AB de vreo 25 cm lungime. Cu ajutorul unei cleme se fixează tubul pe un stativ Bunsen. Tubul poate fi rotit în diferite poziții: orizontal, vertical cu capătul închis în sus, vertical cu capătul închis în jos, oblic.

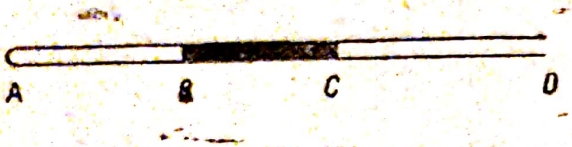

Fig. 102. — Verificarea legii Boyle și Mariotte.

Întrucît secțiunea tubului este aceeași pentru toate măsurătorile, volumul masei de aer este proporțional cu lungimea coloanei de aer AB. Se poate deci exprima volumul în unități convenționale, luînd ca unitate de volum volumul unei coloane de 1 mm lungime. De aceea, volumul V se exprimă prin lungimea coloanei de aer AB. Presiunea aerului închis în tub variază cu poziția tubului. Cînd tubul este orizontal, presiunea p a aerului închis în tub este egală cu presiunea atmosferică H citită la un barometru. Dacă tubul este vertical cu capătul închis în jos (fig. 103, *a*), presiunea aerului închis în tub va fi egală cu presiunea atmosferică H, la care se adaugă presiunea hidrostatică $h = BC$ produsă de coloana de mercur BC. Cînd tubul este vertical, cu capătul închis în sus (fig. 103, *b*), presiunea aerului închis în tub este mai mică decît presiunea atmosferică H și se obține scăzînd din aceasta presiunea coloanei de mercur $h_1 = B_1C_1$. În cazul cînd tubul este oblic (fig. 103, *c*), presiunea, adică proiecția pe verticală $B'_2C_2 = h'_2$ a coloanei C_2B_2 se adaugă sau se scade din presiunea atmosferică H, după cum capătul închis al tubului este în jos sau în sus.

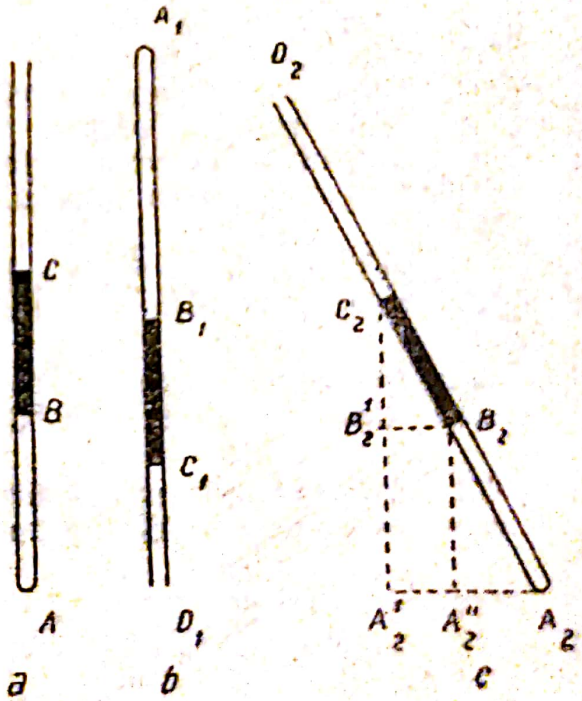

Fig. 103 — Pozițiile de lucru ale tubului.

Mersul experienței. Se așază succesiv tubul vertical cu capătul închis în sus, oblic cu capătul închis în sus, orizontal, înclinat cu capătul închis în jos, vertical cu capătul închis în jos. Se obțin astfel 5 determinări distincte, la presiuni mai mici și mai mari decît presiunea atmosferică.

Ca volum se ia lungimea coloanei de aer $AB = \varphi$ măsurată în milimetri, pe hîrtia milimetrică.

Scanned with OKEN Scanner

Presiunea aerului închis în tub se deduce cum s-a menționat mai înainte. Lungimea coloanei de mercur BC se măsoară la fel, în milimetri, pe hîrtia milimetrică a riglei de lemn, cînd tubul este vertical sau orizontal. Pentru o poziție înclinată, se măsoară proiecția pe verticală B'_2C_2 a coloanei de mercur B_2C_2 (fig. 103, *c*), în felul următor: cu o riglă gradată se măsoară lungimile verticale A'_2C_2 și A''_2B_2 de la fața mesei pînă la cele două capete ale coloanei de mercur.

Se face apoi diferența $A'_2C_2 - A''_2B_2 = h$, care reprezintă presiunea care trebuie adăugată sau scăzută din presiunea atmosferică. Rezultatele obținute se trec în următorul tabel de rezultate:

H_{torr}	h mm	$p = H \pm p_{torr}$	v mm³	pv	Media

Care pot fi cauzele care fac ca produsele pv să nu fie riguros egale?

Rezultatele se reprezintă grafic pe hîrtie milimetrică, luînd pe abscisă volumele, spre exemplu la scara 1 mm pentru 2 unități de volum, iar pe ordonată presiunile la scara 1 mm pentru 5 torr.

Iată rezultatele obținute la o verificare experimentală și graficul respectiv (fig. 104).

p	v	pv
592	308	182 336
687	265	182 055
767	237	181 779
843	217	182 931
942	194	182 748

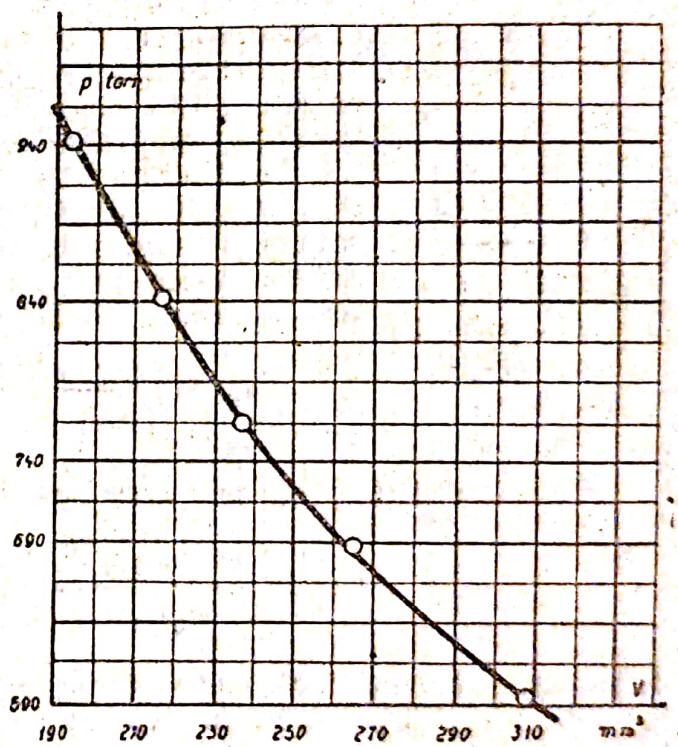

Fig. 104 — Graficul rezultatelor experimentale.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 4

Verificarea legii Gay-Lussac

Din legea Gay-Lussac se deduce că, coeficientul de dilatație sub presiune constantă $\alpha_p = \frac{V - V_0}{V_0 t}$ este același pentru toate gazele și egal cu $\alpha = 273{,}15°C$.

Scanned with OKEN Scanner

Legea Gay-Lussac se poate verifica ușor cu ajutorul unui dispozitiv simplu. Într-un tub capilar închis la un capăt, cu diametrul de circa 1 mm și lung de vreo 20 cm, se închide un volum de aer uscat, cu ajutorul unei coloane BC de mercur, de aproape 1 cm lungime. Tubul este fixat pe o riglă verticală, gradată în milimetri, așa că extremitatea capătului închis D al tubului să fie în dreptul diviziunii zero a gradației (fig. 105). Volumul aerului închis în tub va fi $V = s.l$, notînd cu s aria secțiunii capilarului și cu l lungimea coloanei de aer DB. Tubul capilar cu capătul deschis în sus se introduce vertical în amestecul de gheață și apă dintr-un pahar, așa fel ca toată coloana DB să fie în amestecul cu temperatura de 0°C. După ce s-a stabilit echilibrul termic (coloana de mercur rămîne fixă), se citește lungimea $l_0 = DB$.

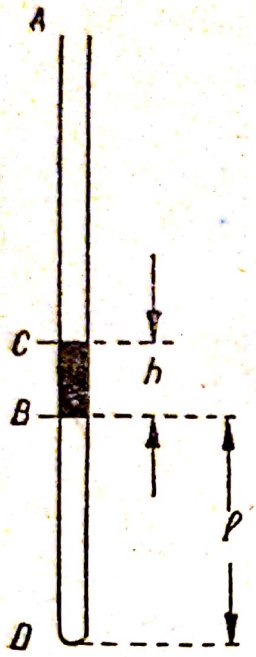

Fig. 105.—Tub pentru verificat legea Gay-Lussac.

Presiunea aerului închis în tub va fi $p = H + h$, unde H este presiunea atmosferică citită la un barometru, iar h lungimea coloanei de mercur BC.

Se înlocuiește apoi amestecul de gheață și apă cu apă călduță și se încălzește ușor paharul pînă cînd apa ajunge în preajma temperaturii de 20°C. Îndepărtăm flacăra, agităm apa cu o baghetă pînă se realizează echilibrul termic și citim temperatura $t_1°$ și lungimea l_1 a coloanei de aer DB.

Continuăm apoi încălzirea ca mai jos pînă la 30°, 40°, 50°...80°C, citind de fiecare dată temperatura și lungimea. Aceste 8 determinări servesc la determinarea de 8 ori a coeficientului de dilatație sub presiune constantă:

$$\alpha_p = \frac{v_1 - v_0}{v_0\, t_1} = \frac{v_2 - v_0}{v_0\, t_2} = \ldots = \frac{v_8 - v_0}{v_0\, t_8}.$$

Se observă ușor că aria s se simplifică:

$$\alpha_p = \frac{sl_1 - sl_0}{sl_0 \cdot l_1} = \frac{l_1 - l_0}{l_0 \cdot t_1} \text{ etc.},$$

încît nu este necesară cunoașterea ei.

Rezultatele se trec într-un tabel astfel:

l	t	$\alpha_p = \frac{l_1 - l_0}{l_0\, t_1}$	Media

Care pot fi cauzele erorilor?

Scanned with OKEN Scanner

92. **Structura lichidelor.** În lichide, moleculele se găsesc mult mai apropiate unele de altele decît în gaze, de aceea între moleculele corpurilor lichide se exercită forțe de atracție; adică forțe de coeziune. Din această cauză, corpurile lichide au volum propriu și suprafață liberă, prin care ele se separă de aer și de alte gaze care s-ar găsi deasupra lor.

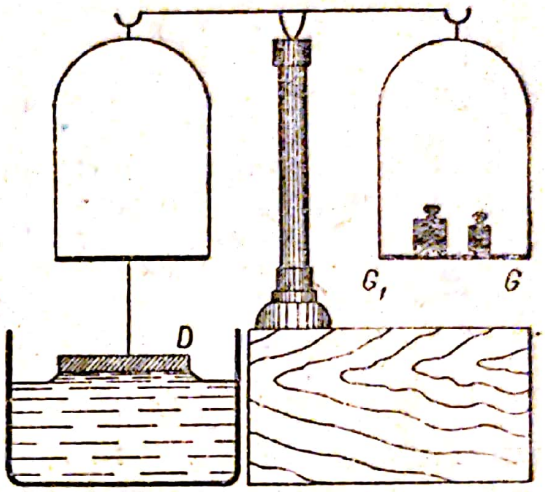

Fig. 106. — Demonstrarea coeziunii și adeziunii lichidelor.

E x p e r i e n ț e. Un disc de sticlă D, foarte curat, se atîrnă de platanul unei balanțe (fig. 106) și se echilibrează cu greutatea G_1. Sub el se ridică un vas cu apă distilată, pînă cînd discul de sticlă vine în contact cu suprafața liberă a apei, fără să rămînă între ele bule de aer. Pe platanul balanței se adaugă apoi treptat greutăți și se constată că discul *nu se desprinde de suprafața apei, care se ridică o dată cu discul.* La o anumită valoare G a greutăților adăugate, cilindrul de apă format sub disc se rupe și discul se desprinde de apă, însă rămîne ud. Se repetă experiența cu mercur. Forța necesară pentru a desprinde discul de suprafața mercurului este mai mică decît în cazul apei, iar pe disc nu rămîne nici o picătură de mercur. Acesta nu udă fața discului de sticlă.

Din aceste două experiențe tragem concluzii interesante. În primul rînd, se dovedește că între *moleculele corpurilor se exercită forțe de atracție. Forțele de atracție dintre moleculele corpurilor se numesc forțe de coeziune* sau, simplu, **coeziune.** Datorită coeziunii, lichidul se ridică o dată cu discul de sticlă tras în sus. Se mai constată că forțele de atracție moleculară se exercită și între molecule de corpuri diferite, de exemplu între moleculele de apă și cele care formează sticla. Forțele de atracție dintre molecule de corpuri diferite se numesc *forțe de adeziune* sau, simplu, **adeziune.**

Din prima experiență rezultă că adeziunea dintre sticlă și apă este mai mare decît coeziunea moleculelor de apă; de aceea apa rămîne pe sticlă. Din experiența a doua

deducem că moleculele de mercur au coeziunea mai mare decît adeziunea lor față de sticlă ; de aceea mercurul nu udă sticla.

Privind cu atenție suprafața lichidului din vecinătatea pereților, se constată că în cazul lichidelor care udă pereții vasului, ca apa, lichidul se ridică puțin pe pereți, formînd o suprafață concavă, numită **menisc concav**. În cazul lichidelor care nu udă pereții vasului, ca mercurul, lichidul este tras în jos de către pereți, formînd un **menisc convex**, adică bombat în exterior.

Forțele de coeziune sînt cele care opun rezistență la ruperea unui solid. Știința actuală a dovedit că forțele de coeziune sînt de natură electrică. Ele nu pot fi forțe de gravitate, cum s-ar putea crede, deoarece valoarea lor este mult mai mare decît aceea care ar corespunde valorilor date de legea gravitației.

Existența forțelor de adeziune poate fi observată la tot pasul: picăturile de ploaie se prind de geam, cerneala de peniță, vopseaua pe obiectele care se vopsesc, praful de cretă pe tablă etc.

Corpurile solide și cele lichide care au moleculele mult mai apropiate între ele decît gazele se comprimă foarte puțin, chiar cînd sînt supuse la presiuni foarte mari. De aici se deduce ușor că între moleculele corpurilor se exercită și forțe de respingere, care se opun la comprimarea corpurilor, adică la apropierea moleculelor. Aceste forțe de respingere se manifestă puternic la ciocnirile moleculelor gazelor și în fenomenele de elasticitate. Forțele de coeziune, cele de adeziune, precum și cele de respingere dintre molecule sînt *forțe intermoleculare*. Ele acționează numai pe distanțe foarte mici. Două bucăți de metal puse în contact nu se atrag între ele. Dacă însă fețele lor de contact sînt mai întîi perfect șlefuite și se alătură una de alta, ele se desprind apoi cu greutate. Înainte de șlefuire, fețele aveau asperități, care împiedicau apropierea moleculelor la distanțe atît de mici, încît să se poată atrage. Se dovedește astfel că forțele de coeziune acționează numai pînă la distanțe foarte mici. Măsurători de precizie au dovedit că acțiunea unei molecule se exercită în jur pînă la o distanță cam de $5 \cdot 10^{-6}$ cm. Se numește *sferă de acțiune moleculară* o sferă cu centrul în centrul moleculei, avînd raza egală cu distanța maximă pînă la care mai pot interacționa două molecule $\approx 5 \cdot 10^{-6}$ cm $= 50$ mμ.

Diametrul mediu al unei molecule fiind de $\approx 5 \cdot 10^{-8}$ cm $=$ $= 0{,}5$ mμ, înseamnă că raza unei sfere de acțiune moleculară este cam de 100 de ori mai mare decît diametrul unei molecule.

Scanned with OKEN Scanner

Moleculele unui lichid sînt foarte apropiate între ele, încît în interiorul sferei de acțiune moleculară a uneia din ele se găsesc cam 10^5—10^6 molecule, distribuite în mod omogen. Cu alte cuvinte, o moleculă m (fig. 107) din interiorul unui lichid este atrasă în mod uniform în toate direcțiile de către un număr imens de molecule vecine, care se află în interiorul sferei ei de acțiune moleculară. Din această cauză, toate aceste forțe de atracție se echilibrează reciproc și nu influențează mișcarea moleculei m de lichid. Pentru molecula m, aflată în interiorul unui lichid, lucrurile se petrec ca și cum n-ar exista aceste forțe de atracție moleculară.

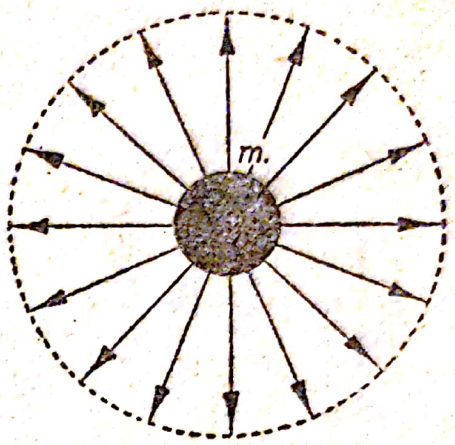

Fig. 107.—Interacțiunile din sfera de acțiune moleculară.

93. **Proprietățile stratului superficial.** Cînd o moleculă se află la suprafața de separare GY dintre lichid și aer sau alt gaz, lucrurile se petrec altfel. Sfera de acțiune moleculară a unei molecule situate chiar la suprafața de separare (fig. 108,*a*) se găsește jumătate în lichid și jumătate în gaz. În emisfera cu lichid, moleculele sînt mult mai dese decît sînt moleculele de gaz din emisfera superioară a sferei de acțiune moleculară. Din această cauză, forțele de atracție din zona de lichid vor fi mult mai mari decît forțele de atracție din zona de gaz și deci ele nu se vor mai echilibra. Rezultanta forțelor de atracție dintre molecula centrală și vecinele ei, cuprinse în sfera ei de acțiune moleculară, nu va mai fi nulă, ci va avea o mărime R, *îndreptată spre interiorul lichidului.* O moleculă din lichid aflată în vecinătatea suprafeței de separare GY, dar la o distanță mai mică decît $r = 5 \cdot 10^{-6}$ cm, va avea sfera de acțiune moleculară cuprinsă parțial și în aer (fig. 108, *b*). Molecula m va fi atrasă egal și în sensuri opuse de către moleculele vecine, aflate în zonele egale *3* și *4*. Însă atracțiile exercitate față de ea de către moleculele din zona *2* din lichid vor fi mult mai mari decît cele exercitate de către moleculele din zona *1* din aer. În felul acesta, și molecula m va fi acționată de o forță rezultantă R_1 *îndreptată spre interiorul lichidului.* Evident că forța R_1 va fi mai mică decît forța R, deoarece la producerea ei contribuie un număr mai mic

de molecule, cele aflate în zona 2, pe cînd la producerea forței R contribuie moleculele aflate într-o emisferă (fig. 108, *a*). Moleculele care se găsesc la suprafața $G_1 Y_1$, la o distanță egală cu raza sferei de acțiune moleculară față de suprafața liberă GY a lichidului, nu vor mai fi atrase către interiorul lichidului (fig. 108, *c*). Sfera lor de acțiune moleculară este cuprinsă total în lichid și forțele de atracție moleculară se compensează reciproc.

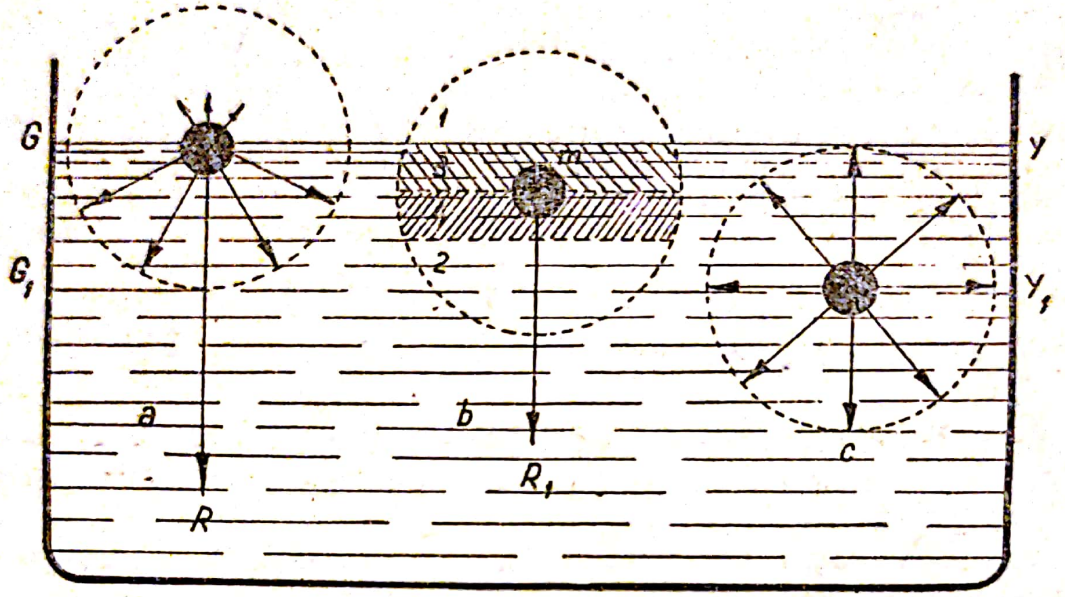

Fig. 108. — Stratul superficial al unui lichid.

Ca rezultat al acestui fapt ajungem la cîteva concluzii foarte interesante și neașteptate. La suprafața unui lichid se găsește un strat de molecule, care are proprietăți deosebite de restul lichidului. El se numește *strat superficial* și are grosimea egală cu raza sferei de acțiune moleculară. *Toate moleculele cuprinse în stratul superficial al lichidului sînt atrase către interiorul lichidului.* Din această cauză, **stratul superficial exercită o presiune asupra lichidului din interior, numită presiune moleculară sau presiune internă.**

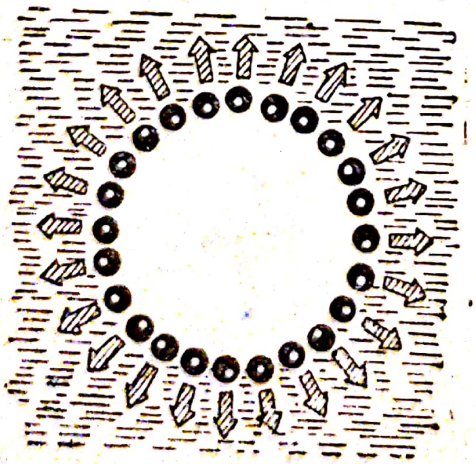

Fig. 109. — Presiunea în interiorul unui lichid.

S-a dovedit că presiunea moleculară are valori foarte mari. În cazul apei are valoarea

de 11 000 atm, în cazul alcoolului are 2 400 atm etc. Presiunea moleculară este îndreptată totdeauna către interiorul lichidului și este echilibrată de către forțele de respingere moleculară (fig. 109). Existența presiunilor moleculare așa de mari explică de ce lichidele se comprimă foarte greu. Ele sînt puternic comprimate chiar în stare obișnuită, datorită presiunii moleculare. Pentru a produce variații de volum mai importante ale lichidului, deci variații ale distanțelor dintre molecule, este nevoie de presiuni mari, care să nu fie neglijabile față de presiunea moleculară.

Pentru ca o moleculă să iasă din lichid, trebuie să străbată stratul superficial și să învingă presiunea moleculară. Din această cauză, molecula trebuie să posede o energie moleculară mare, adică să aibă viteză medie mare. Se înțelege că se evaporă, adică ies din lichid numai acele molecule care au viteze mari, deoarece știm că viteza de evaporare crește o dată cu temperatura. Cînd temperatura atinge o anumită valoare, energia medie moleculară este suficientă pentru a învinge presiunea moleculară și lichidul fierbe.

94. **Tensiunea superficială.** Moleculele din stratul superficial sînt supuse forțelor de atracție spre interiorul lichidului. De aceea în stratul superficial se găsește o energie potențială a moleculelor. Se știe că un corp ia poziția de echilibru care corespunde energiei potențiale minime. Stratul superficial va lua și el o poziție care să corespundă unei valori minime a energiei potențiale. Din această cauză, suprafața liberă a lichidului va lua forma plană și orizontală, căci numai în acest caz stratul superficial are volum minim, iar ca urmare și energia potențială conținută de el va fi minimă. Se observă că, pentru a întinde suprafața liberă a unui lichid, este nevoie de energie, deoarece, în acest caz, volumul stratului superficial crește, deci și energia lui trebuie să crească și, prin urmare, este nevoie de energie suplimentară. Lăsată liber, suprafața liberă revine la forma inițială, eliberînd energia consumată pentru întinderea ei. Prin urmare, existența presiunii moleculare face ca *stratul superficial al unui lichid să se comporte ca o peliculă elastică*. Lucrurile se petrec ca și cum la suprafața unui lichid s-ar exercita forțe tangențiale, care ar întinde suprafața liberă a lichidului, ca pe o peliculă elastică. Aceste **forțe care se exercită tangențial la suprafața unui lichid se numesc tensiuni superficiale.**

Scanned with OKEN Scanner

Așadar moleculele de lichid din stratul superficial formează o peliculă întinsă, extrem de subțire, care se comportă ca o membrană elastică. O sumă de fenomene dovedesc existența acestei pelicule.

Dacă se adaugă apă, picătură cu picătură, într-un pahar aproape plin, se poate ajunge ca apa să depășească marginea paharului, deoarece pelicula superficială ține lichidul, nelăsîndu-l să se reverse peste marginile paharului (fig. 110, *a*).

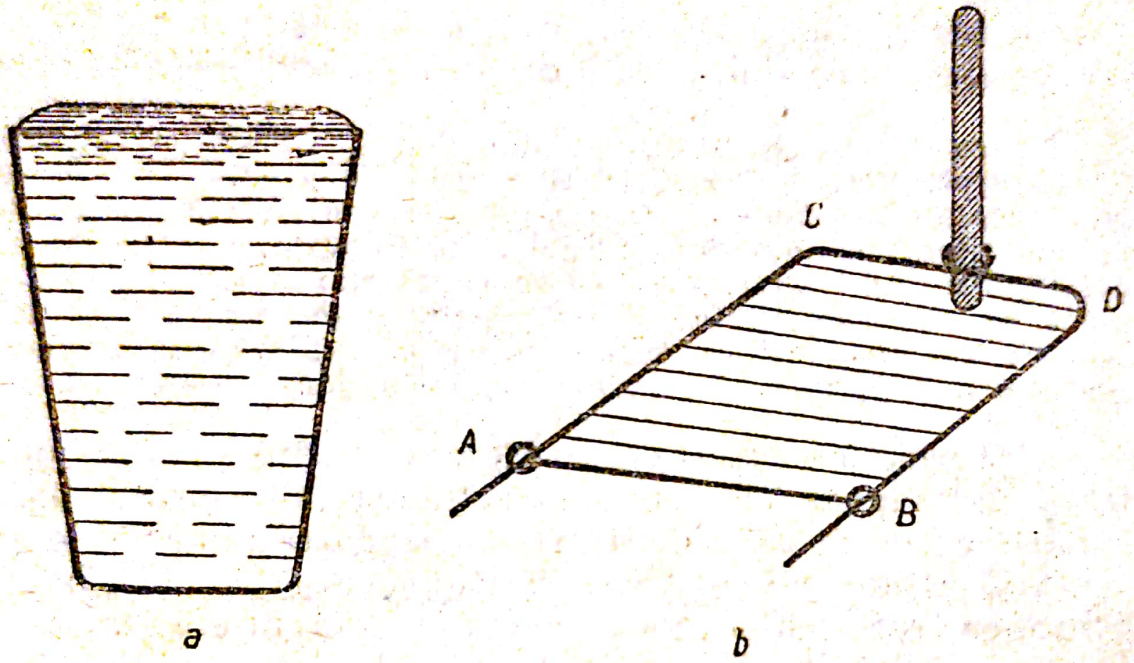

Fig. 110. — Proprietățile elastice ale stratului superficial.

O sîrmă subțire este îndoită de două ori în unghi drept (fig. 110, *b*), iar pe ea se pune o punte mobilă AB din sîrmă. Se cufundă totul într-o soluție de săpun cu glicerină și apoi se scoate afară. Între puntea AB și cadrul de sîrmă îndoită se formează o peliculă subțire de lichid. Puntea mobilă de sîrmă AB este atrasă înspre CD de către tensiunea superficială, care micșorează aria peliculei de lichid. Dacă se trage de mijlocul lui AB, el se depărtează de CD, și pelicula se întinde; lăsată liber, AB este atrasă iar către CD, punînd în evidență existența tensiunilor superficiale, care acționează tangențial la suprafața liberă și tind să micșoreze pelicula superficială. Dacă laturile CA și DB sînt ținute vertical și se atîrnă greutăți de mijlocul lui AB, se poate măsura forța produsă de tensiunea superficială. Același lucru se poate demonstra și astfel:

De un inel de sîrmă se leagă un fir de ață OC (fig. 111, *a*), se cufundă totul în soluția de săpun și apoi se scoate din lichid. Firul este tras de pelicula formată. Dacă tragem de firul OC spre A, pelicula de săpun se întinde; lăsată liber, se micșorează sub acțiunea forțelor de tensiune superficială. Dacă se unesc două sîrme AB și CD cu 2 fire de ață AC și BD și se cufundă totul în apă cu săpun, pelicula de apă cu săpun formată ia forma din figura 111, *b*, dovedind existența tensiunilor superficiale, care tind să micșoreze suprafața peliculei.

Scanned with OKEN Scanner

Se formează o peliculă de apă cu săpun la un inel din sîrmă, care are un ochi de aţă legat de el (fig. 112, *a*). Cu o altă sîrmă, avînd capătul încălzit pînă la roşu, se sparge pelicula în interiorul ochiului de aţă. Acesta este imediat întins în

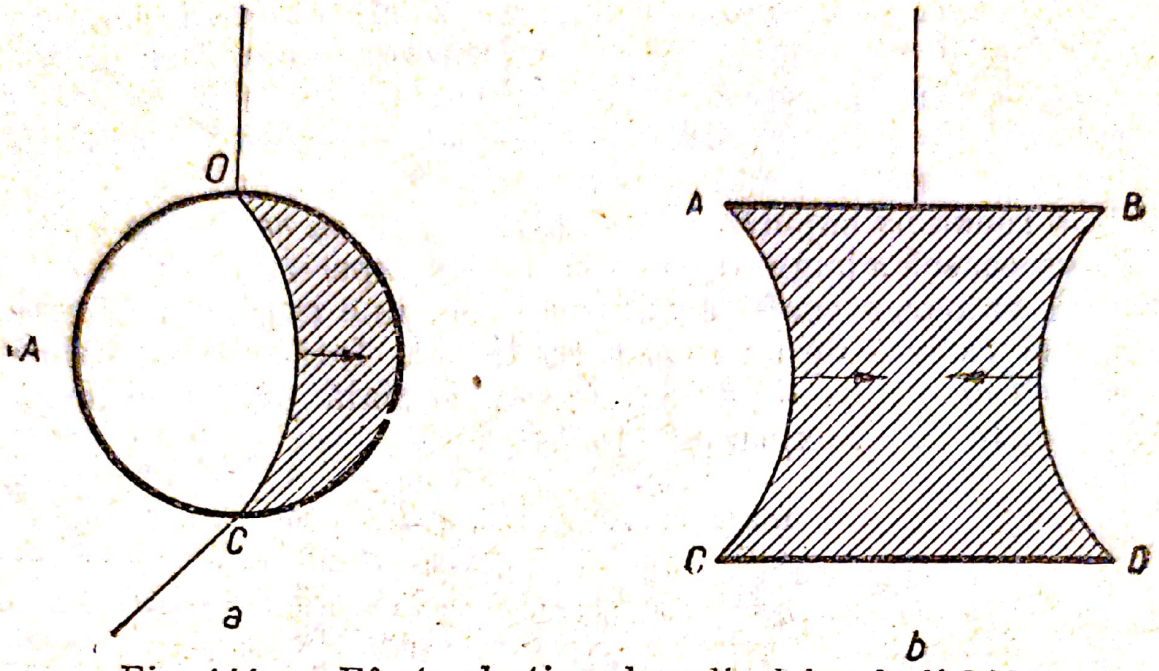

Fig. 111. — Efecte elastice ale peliculelor de lichid.

forma unui cerc (fig. 112, *b*), deoarece dintre toate figurile cu acelaşi perimetru, cercul are aria maximă, încît aria peliculei de lichid rămase să fie minimă.

Formarea picăturilor se datoreşte tot acestui fenomen. Picăturile de apă sau de mercur aşezate pe o masă sau un geam unsuros iau forma sferică (fig. 113). Dacă sînt mai mari se turtesc din cauza forţelor de greutate. Dacă forţele de greutate sînt echilibrate, atunci forţele de tensiune superficială dau formă sferică şi picăturilor mai mari, deoarece la un

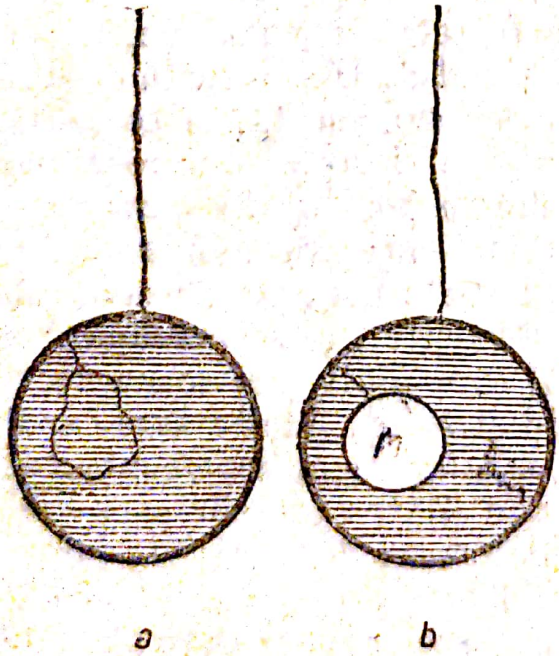

Fig. 112. — Pelicula de lichid devine minimă.

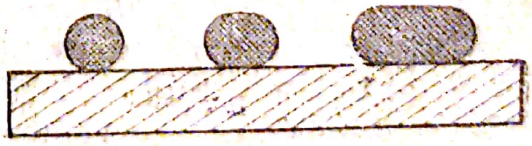

Fig. 113. — Forma picăturilor de lichid.

volum dat sfera are aria cea mai mică. Acest lucru se poate observa lăsînd picături dintr-o soluție de $Cr_2O_7K_2$ să plutească în ulei de parafină. Picăturile de ploaie au de asemenea formă sferică.

Din toate cele expuse pînă aici constatăm că tensiunea superficială este o *forță tangentă* la suprafața lichidului. Valoarea acestei forțe necesare pentru a rupe prin întindere o unitate de lungime din membrană se numește **coeficient de tensiune superficială** și se măsoară în dyn/cm. Coeficientul de tensiune superficială se obișnuiește să se noteze cu litera grecească σ (sigma). Determinările experimentale au arătat că valoarea coeficientului de tensiune superficială este mică și variază de la lichid la lichid. Iată cîteva valori ale coeficientului de tensiune superficială pentru diferite lichide, la 20°C, exprimate în dyn/cm:

mercur	500
apă	73
glicerină	66
benzen	29
alcool etilic	23
aer lichid (la — 190°C)	12.

Cînd temperatura crește, coeficientul de tensiune superficială scade.

95. **Tensiunea superficială la suprafața de separare dintre lichid și solid.** La suprafața de contact dintre lichide și solide acționează nu numai forțele de coeziune, ci și forțele de adeziune dintre lichid și solid. Din această cauză, suprafața lichidului nu mai rămîne orizontală, ci se așază perpendicular pe rezultanta dintre forțele de coeziune și cele de adeziune, adică ia forme curbe, numite *meniscuri*.

96. **Lichide care udă și lichide care nu udă solidele.** Să considerăm o moleculă *M* de lichid, aflată în zona de la contactul lichidului cu pereții vasului, și să presupunem că forța de coeziune *C* (fig. 114) este mult mai mare decît forța de adeziune *A* dintre lichid și solid. Acesta este cazul unui *lichid care nu udă pereții vasului*, cum este contactul dintre apă și un solid unsuros sau dintre mercur și sticlă. Sfera de acțiune moleculară a moleculei *M* se găsește jumătate în solid *(1)*, o parte în aer *(2)*, care produce interacțiuni neglijabile, și o parte *(3)* în apă, care are coeziunea *C*, foarte mare față de adeziunea din *(1)*. Rezultanta *R* dintre forța de adeziune și cea de coeziune este îndreptată spre interiorul

Scanned with OKEN Scanner

lichidului, ceea ce face ca suprafața lichidului în echilibru să formeze un menisc cu cavitatea în jos, avînd marginea coborîtă pe pereții vasului. Așadar, lichidele care nu udă pereții vasului formează un menisc convex care are marginea coborîtă pe peretele vasului.

Să considerăm acum molecula M dintr-un lichid care are forța de coeziune C mai mică decît forța de adeziune A dintre lichid și solid (fig. 115). Acesta este cazul unui *lichid care udă pereții vasului*. De data aceasta, rezultanta R dintre forța de adeziune și cea de coeziune este îndreptată spre exteriorul lichidului și, în consecință, suprafața lichidului în echilibru, care trebuie să fie perpendiculară pe R, va forma un menisc concav avînd marginea ridicată pe pereții vasului. Prin urmare, lichidele care udă pereții vasului formează menisc cu concavitatea spre exteriorul lichidului și au marginea ridicată pe peretele vasului. Este cazul apei din pahar.

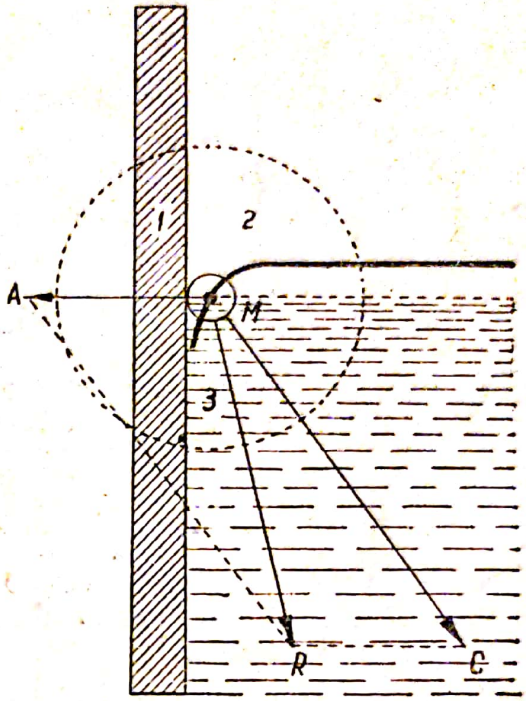

Fig. 114. — Menisc convex.

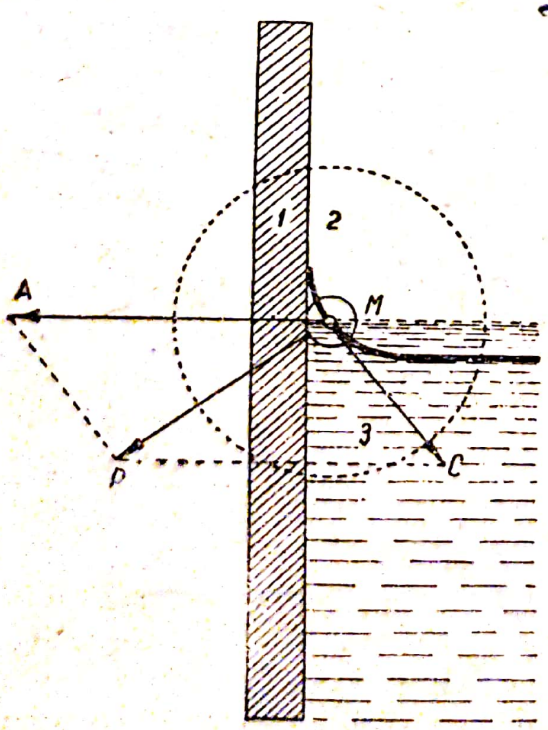

Fig. 115. — Menisc concav.

97. **Capilaritate.** Datorită forțelor de tensiune superficială de la contactul lichidului cu peretele, la meniscuri apar forțe suplimentare, numite forțe Laplace, îndreptate înspre concavitatea meniscului. În cazul meniscurilor concave (fig. 115), care se produc atunci cînd lichidul udă pereții vasului, forța Laplace este îndreptată în sus. Ea are ca urmare ridicarea lichidului de la margine pe pereții vasului. Această forță poate face echilibrul greutății unui ac, care poate pluti la

Scanned with OKEN Scanner

suprafața apei dintr-un pahar, deși este mai greu decît forța arhimedică (fig.116).

În cazul meniscurilor convexe (fig. 114), care se produc atunci cînd lichidul nu udă pereții vasului, forța Laplace va fi îndreptată în jos. Ea are ca urmare coborîrea lichidului de la margine pe pereții vasului.

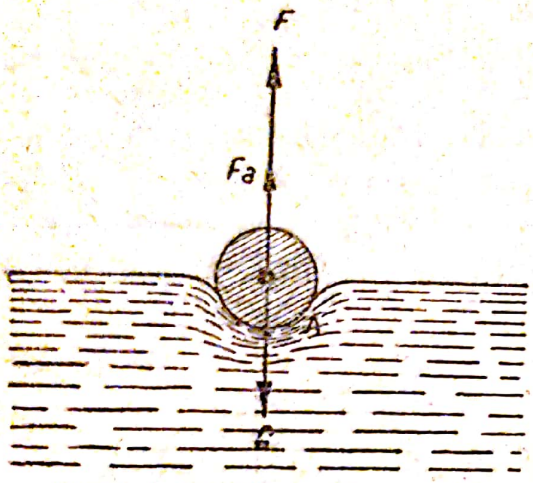

Fig. 116. — Plutirea unui ac pe suprafața unei ape.

Acțiunea forțelor Laplace produse de către tensiunile superficiale la suprafețele curbe are efecte mult mai vizibile în cazul tuburilor capilare. Se numește *capilar* un tub care are diametrul în jurul unui milimetru sau mai puțin. Deoarece diametrul tubului capilar este mic, meniscul cuprinde toată suprafața lichidului din tubul capilar. La contactul cu pereții tubului capilar, tensiunile superficiale sînt îndreptate în sus (fig 117), încît dau o forță Laplace F îndreptată în sus. Această forță va ridica lichidul în tubul capilar pînă cînd greutatea coloanei de lichid din tub, ridicată deasupra nivelului lichidului din vas, va fi egală cu F. Forța Laplace rezultă din însumarea forțelor de tensiune superficială de-a lungul conturului meniscului; deoarece σ este forța pe o unitate de lungime, pentru întregul contur, forța Laplace va fi:

$$F = 2\pi r\sigma.$$

Greutatea coloanei de lichid ridicată în tubul capilar este:

$$G = \pi r^2 h\rho g.$$

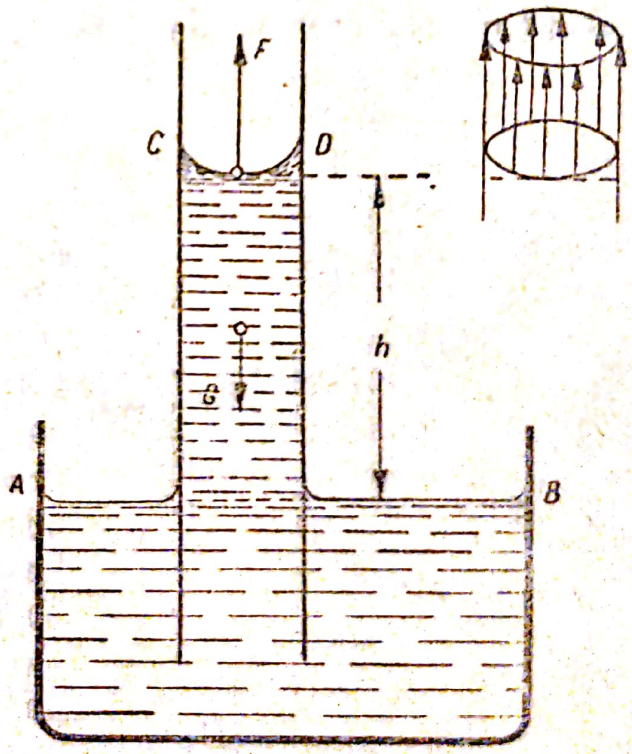

Fig. 117. — Ascensiune capilară.

Condiția de echilibru este:

$$F = G,$$

adică:

$$2\pi r\sigma = \pi r^2 h\rho g,$$

de unde:

$$\boxed{rh = \frac{2\sigma}{\rho g} = \text{const.}} \qquad (50)$$

în care h este ascensiunea capilară, ρ este densitatea lichidului, r este raza tubului capilar, iar g este accelerația gravitației. Din rezultatul găsit mai sus (50), se constată că ρ, g și σ sînt constante pentru același lichid și același solid. Se poate deci spune că:

Ascensiunile în tuburile capilare, pentru același lichid, sînt invers proporționale cu razele tuburilor capilare.

Aceasta este legea lui **Jurin.**

În cazul unui lichid care nu udă pereții, se formează un menisc convex CD (fig 118). Datorită tensiunilor superficiale, îndreptate în jos, apare o forță Laplace F, îndreptată în jos. Această forță va coborî lichidul în tubul capilar, cu o *denivelare capilară* h. Denivelarea capilară se calculează ținînd seamă că presiunea $p_s = \frac{F}{S}$ produsă de ea trebuie să fie egală cu presiunea hidrostatică p_h la nivelul AB al meniscului (fig. 118).

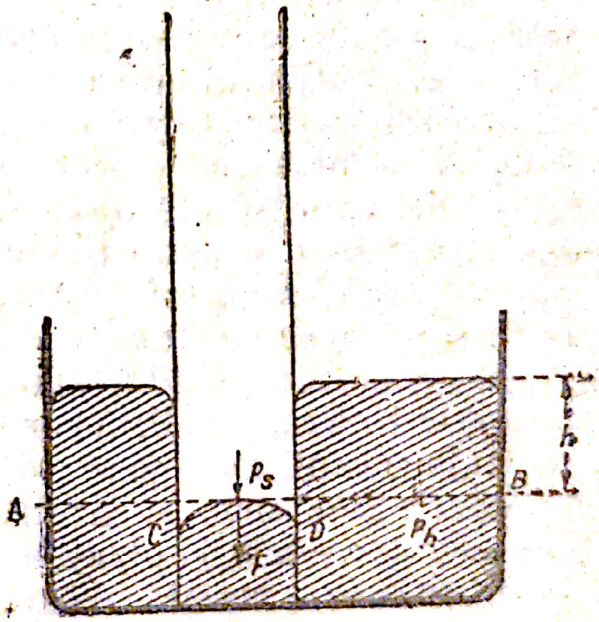

Fig. 118. — Depresiune capilară.

Urmează că:

$$p_s = p_h,$$

adică presiunea p_s de sus în jos, produsă de către forța $F = 2\pi r\sigma$, provenită din însumarea forțelor de tensiune superficială de-a lungul conturului meniscului, trebuie să echilibreze presiunea hidrostatică p_h produsă prin denivelarea h a lichidului și transmisă de acesta la suprafața interioară a lichidului, de jos în sus. Așadar:

$$\frac{2\pi r\sigma}{\pi r^2} = \rho g h,$$

de unde:

$$rh = \frac{2\sigma}{\rho g} = \text{const.} \qquad (51)$$

Rezultatul este același ca și în cazul ascensiunilor capilare. Prin urmare, legea Jurin poate fi exprimată astfel:

Denivelările capilare produse de același lichid în mai multe tuburi capilare sînt invers proporționale cu razele tuburilor capilare.

De exemplu, într-un tub de sticlă cu diametrul de 1 mm, apa se ridică la înălțimea de 28 mm. Dacă diametrul tubului capilar este de 0,1 mm, apa se ridică la 28 cm. Ea se va ridica la 28 m înălțime într-un tub capilar cu diametrul de numai 0,001 mm.

98. **Aplicații ale fenomenelor de tensiune superficială și de capilaritate.** Deși s-ar părea că fenomenele de capilaritate, fiind datorite forțelor din stratul superficial, ar putea fi neglijate și nu ar influența activitatea noastră zilnică, lucrurile se prezintă altfel. După cum o sită metalică poate pluti pe apă, tot așa apa nu pătrunde prin ochiurile țesăturii care formează pînza cortului. Datorită capilarității, seva se urcă în plante prin vasele capilare din trunchiul plantelor și le asigură hrana. Lampa cu petrol arde datorită fenomenului de capilaritate, care face ca petrolul să se urce prin porii fitilului ca prin tuburi capilare extrem de subțiri. La fel se urcă lichidele în vată, hîrtie sugătoare, cretă sau alte corpuri poroase. Pentru a împiedica urcarea apei prin porii cărămizilor și a împiedica asfel formarea igrasiei, se pune un strat de smoală deasupra unui rînd de cărămizi, în zidurile casei.

În agricultură, capilaritatea este un fenomen de care trebuie să se țină seama. Prin porii solului, care formează adevărate tuburi capilare, apa se ridică din adînc spre suprafață, la rădăcinile plantelor. În caz de secetă, apa iese astfel din pămînt, care se usucă, și plantele pier. Pentru a împiedica acest lucru, se face o prașilă puțin adîncă a pămîntului. În felul acesta, tuburile capilare formate în sol se întrerup și apa nu se mai urcă la suprafață, ci rămîne în pămînt. Adevărul celor spuse aici poate fi ușor verificat dacă se observă că acolo unde pămîntul este bătut, ca sub urmele de picior, cărări etc., el se usucă mult mai tare decît acolo unde este afînat.

Tehnica vopsitoriei folosește de asemenea fenomenele capilare sub formă de absorbție. Aceasta constă în fixarea pe o fibră a moleculelor unei materii colorante.

Scanned with OKEN Scanner

Experienţa a arătat că pelicula superficială a unei bule de gaz, ca de exemplu un balon de săpun, se contractă, creînd în interior o creştere de presiune. Cu cît bulele sînt mai mici, cu atît presiunea din interiorul lor este mai mare. Acest fapt are o consecinţă neaşteptată în tehnica navală.

Prin rotaţia elicei sau a paletelor turbinei hidraulice se naşte în lichid un nor de bule gazoase foarte mici. Contracţia peliculei lor superficiale face să se nască în interiorul lor presiuni de mii de atmosfere. Ele plesnesc şi produc lovituri microscopice asupra metalului, pe care-l distrug cu timpul. Acest fenomen se numeşte *cavitaţie* şi cauzează uzura elicelor sau a paletelor turbinelor hidraulice.

Unele substanţe dizolvate în apă îi reduc tensiunea superficială; aşa este săpunul. Alte substanţe, ca zahărul şi sarea, măresc tensiunea superficială a apei în care sînt dizolvate. La fabricarea săpunului se foloseşte precipitarea săpunului prin dizolvare de clorură de sodiu în soluţia de săpun.

Flotaţia este o metodă de îmbogăţire a minereurilor utile, bazată pe variaţia tensiunii superficiale, folosind anumite substanţe. Minereul se macină în formă de praf. Acesta se agită în apă cu puţin ulei, cu ajutorul unor elice (fig. 119). Se formează o spumă din băşicuţe de aer într-o

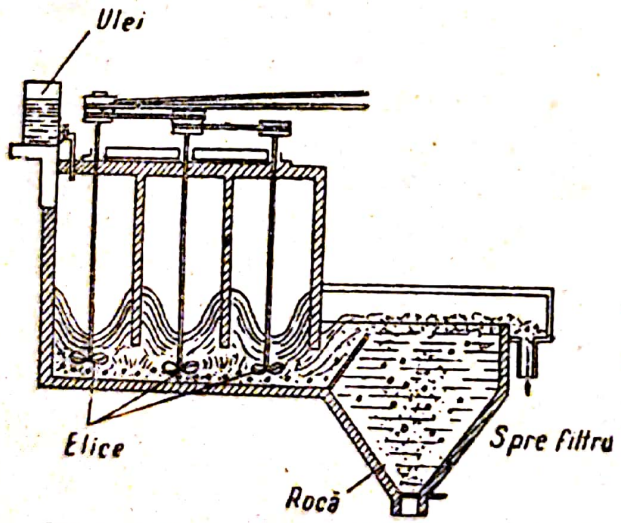

Fig. 119. — Metoda flotaţiei.

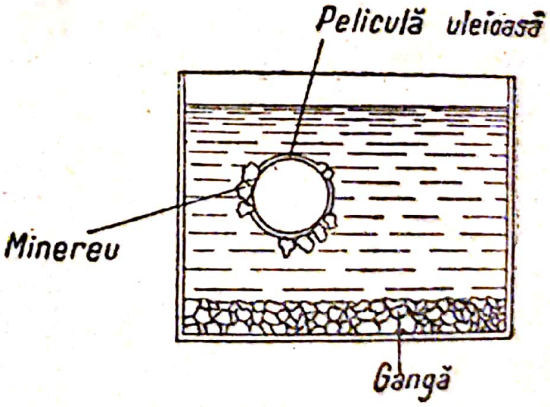

Fig. 120. — Bulă de aer cu peliculă uleioasă.

peliculă de ulei. Pe această peliculă aderă firişoare de mineral util, care sînt ridicate în sus de către băşicuţele de aer (fig. 120). Firişoarele de gangă (minereu nefolositor) nu aderă şi se precipită, adunîndu-se la fund într-o cameră de

precipitare *C*. În felul acesta se pot separa diferite minerale ca: galena, calcopirita, grafitul, caolinul etc., din diferite minereuri.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce forțe intermoleculare cunoașteți?
2. Cum se poate dovedi existența coeziunii? Dar a adeziunii?
3. Ce se înțelege prin sferă de acțiune moleculară?
4. De ce există un strat superficial la lichide?
5. Cum ia naștere presiunea moleculară?
6. Ce este tensiunea superficială?
7. Să se descrie experiențe care dovedesc existența stratului superficial.
8. Cum se formează meniscurile și ce forță ia naștere la un menisc datorită tensiunii superficiale?
9. De ce unele lichide udă pereții și altele nu?
10. Cum se explică ascensiunea capilară?
11. Cum se explică denivelarea capilară?
12. Să se enunțe legea lui Jurin.
13. Să se dea exemple de aplicații ale fenomenelor capilare.

PROBLEME

1. Să se determine tensiunea superficială la 0°C a unui lichid care se ridică la înălțimea de 32,6 mm, într-un capilar de 1 mm diametru. Lichidul are $\rho = 1$ g/cm³.

Răspuns: 80 dyn/cm.

2. Dacă 318 picături dintr-un lichid care se desprinde de la un capilar cu diametru de 0,7 mm cîntăresc 5 g, să se calculeze tensiunea superficială a lichidului.

Răspuns: 70 dyn/cm.

3. La ce înălțime se ridică apa între două plăci verticale din sticlă cufundate parțial în apă, dacă distanța dintre ele este de 0,5 mm, iar tensiunea superficială este de 70 dyn/cm?

Răspuns: 2,85 cm.

PROPRIETĂȚILE CORPURILOR SOLIDE ȘI NOȚIUNI DE REZISTENȚA MATERIALELOR

CORPURI CRISTALINE ȘI CORPURI AMORFE

99. **Structura cristalină.** Cu un strat subțire de ceară acoperim una din fețele unei bucăți de sticlă și a unei bucăți de cuarț. Încălzim o sîrmă și atingem cu ea ceara într-un punct de pe suprafața cuarțului și a sticlei. Căldura care se transmite de la sîrmă topește ceara. Observăm că regiunea în care s-a topit ceara este perfect circulară pe suprafața sticlei; ea este de formă eliptică pe suprafața cuarțului. În cazul sticlei, căldura s-a propagat egal în toate direcțiile,

Scanned with OKEN Scanner

adică sticla este *izotropă* și de aceea suprafața pe care s-a topit ceara este circulară. La cuarț (bioxidul de siliciu), căldura s-a propagat neegal în direcții diferite, adică cuarțul este *anizotrop*, și de aceea suprafața cerii topite este eliptică. Experiența arată că și dilatația, rezistența la tracțiune, proprietățile elastice și electrice au valori diferite în direcții diferite la cuarț. Încălzind cuarțul, el se topește totdeauna la aceeași temperatură, în timp ce sticla nu are o temperatură fixă de topire, ci se înmoaie înainte de a se topi. De unde provin aceste deosebiri între corpurile solide? Analizînd cu atenție cuarțul, se observă o anumită regularitate a fețelor și a unghiurilor lui. Analizînd sticla și spărgînd o bucată de sticlă, observăm că spărtura este netedă și nu vom putea observa fețe ordonat aranjate.

Prin urmare, putem împărți corpurile solide în două categorii:

a. **Substanțe cristaline,** *la care proprietățile fizice nu sînt la fel în toate direcțiile, așa cum este cuarțul. Ele sînt deci anizotrope.* Acestea sînt formate din cristale care au o formă geometrică regulată.

b. **Substanțe amorfe,** *la care proprietățile fizice sînt identice în toate direcțiile, cum este sticla. Ele sînt izotrope.*

Cristalele au formă regulată. Regularitatea care se manifestă în exterior reflectă o așezare regulată a particulelor care alcătuiesc cristalul. Cu alte cuvinte, forma exterioară a unui cristal este numai imaginea exterioară a structurii sale interne, ascunse.

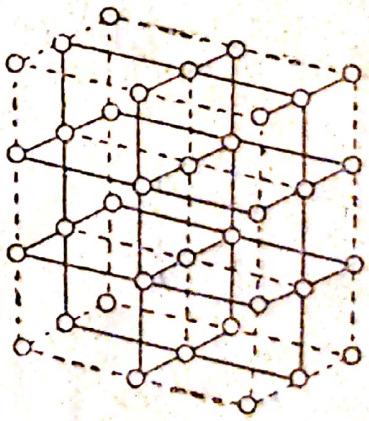

Fig. 121. — Rețea spațială.

Cercetările au dovedit că în cristale particulele sînt aranjate regulat în spațiu formînd *rețele spațiale* (fig. 121 și 122). Particulele din rețelele cristaline nu mai au mișcări de translație, ci numai oscilații, cu amplitudini extrem de reduse în jurul unei poziții de echilibru. Există numeroase tipuri de rețele, ceea ce dovedește varietatea formelor cristaline (fig. 123). Studiul lor se numește **cristalografie geometrică**, iar bazele acestui studiu au fost puse de E.S. Fedorov (1910). Cu ochiul liber se pot vedea cu ușurință formele cristaline la diamant, sare de bucătărie, sulfat de cupru, cuarț etc.

Scanned with OKEN Scanner

La unele corpuri cristaline, cum sînt de exemplu metalele, nu putem vedea cu ochiul liber aceste forme cristaline. Toate metalele sînt cristalizate, dar ele prezintă o structură microcristalină invizibilă cu ochiul liber, adică sînt o aglomerare de cristale microscopice orientate în toate direcțiile.

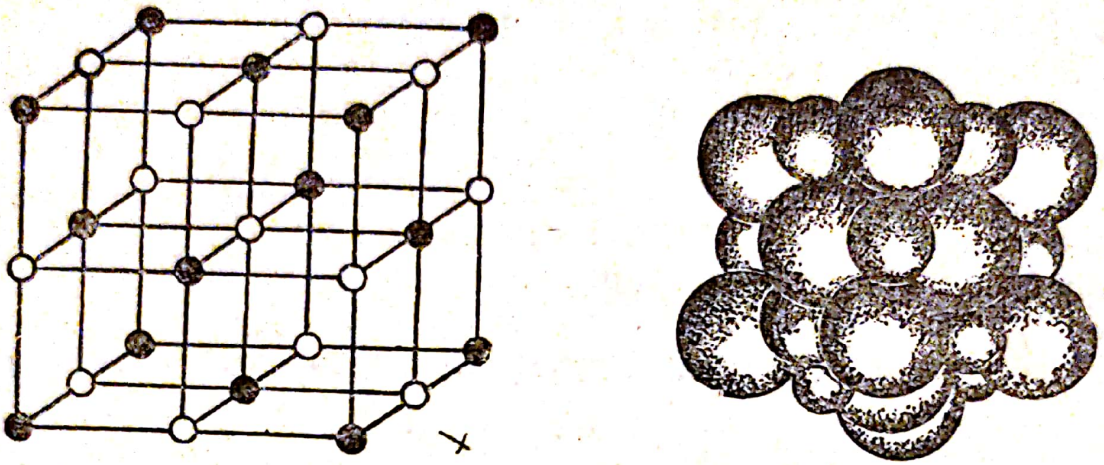

Fig. 122. — Celulă elementară cubică.

100. **Sisteme cristaline.** Toată varietatea formelor cristaline ale diferitelor substanțe cristalizate se poate împărți în șase grupe de forme cristaline, numite **sisteme cristaline.** Un sistem cristalin cuprinde toate formele cristaline, care se pot deduce dintr-o formă de bază, după anumite reguli.

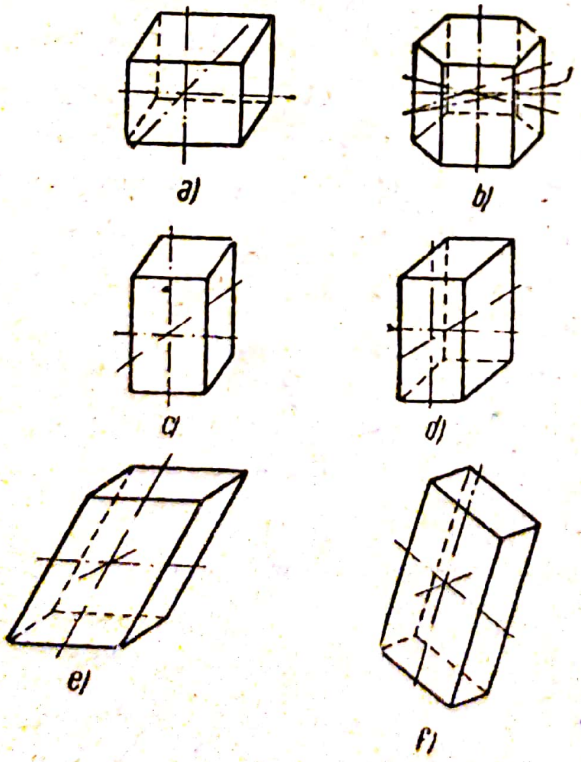

Fig. 123. — Sisteme cristaline.

Sistemul cubic are ca formă fundamentală un cub (fig.123,*a*). În acest sistem cristalizează NaCl, ZnS, pirita și cele mai multe metale.

Sistemul hexagonal are ca formă fundamentală o prismă dreaptă cu baza un hexagon (fig. 123, *b*). În acest sistem cristalizează cuarțul, gheața, spatul de Islanda etc.

Sistemul pătratic are ca formă fundamentală o prismă dreaptă cu baza pătrat (fig. 123, *c*). În acest sistem cristalizează Sn, SnO_2 etc.

Sistemul ortorombic are ca formă fundamentală o prismă dreaptă cu baza un romb (fig. 123, *d*). În acest sistem cristalizează $PbSO_4$, KNO_3 etc.

Sistemul clinorombic (monoclinic) are ca formă fundamentală o prismă oblică, cu

Scanned with OKEN Scanner

baza un romb (fig. 123, *e*). În acest sistem cristalizează $KClO_3$, grafitul, gipsul etc.

Sistemul triclinic are ca formă fundamentală o prismă oblică cu baza un paralelogram (fig. 123, *f*). În acest sistem cristalizează $K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ etc.

101. **Starea amorfă.** La corpurile amorfe, proprietățile fizice sînt identice în toate direcțiile, dovedind lipsa unei aranjări ordonate a particulelor componente. Din experiență se constată că forma cristalină a corpurilor este mai stabilă decît forma amorfă; de aceea multe corpuri amorfe, la temperaturi scăzute, trec în corpuri cristaline. Sticla, care este un corp amorf, suferă acest fenomen de trecere din starea amorfă în starea cristalină la temperaturi scăzute, numit fenomen de „devitrificare". Același fenomen se observă la zahărul caramel, o formă amorfă care încetul cu încetul trece în zahăr cristalizat. Această trecere este cunoscută sub numele de „zaharisire".

Sulful se prezintă atît sub formă cristalizată, cît și sub formă amorfă. Sulful amorf nu este în echilibru stabil la orice temperatură și presiune și încetul cu încetul se transformă în starea cristalină stabilă la acea temperatură. Toate aceste exemple au arătat că starea amorfă nu este o stare stabilă și tendința ei este de a trece în stare cristalină, care prezintă maximum de stabilitate. Această trecere a corpurilor amorfe în stare cristalină se datorește faptului că energia înmagazinată în rețeaua cristalină are cea mai mică valoare. Din mecanică se știe că un corp se găsește în echilibru stabil cînd are minimum de energie potențială. Astfel, corpurile amorfe pierd surplusul de energie pe care-l au și trec treptat în stare cristalină.

Deci *starea cristalină reprezintă starea de echilibru stabil a structurii corpurilor*. Pentru distrugerea rețelei cristaline, prin dizolvare sau topire, este necesară energie, care să desfacă legăturile dintre particulele ce o alcătuiesc.

Prin lipsa unei așezări perfect ordonate a particulelor, starea amorfă se aseamănă cu starea lichidă. Starea amorfă face trecerea dintre faza lichidă și faza solidă cristalizată.

Din familia corpurilor amorfe fac parte un număr foarte mare de substanțe organice cu molecule uriașe. Dintre aceste substanțe fac parte: masele plastice și mătasea artificială.

Scanned with OKEN Scanner

102. Rezistența materialelor. Se știe din clasa a VIII-a că statica se ocupă cu studierea condițiilor de echilibru ale corpurilor asupra cărora acționează una sau mai multe forțe, precum și cu determinarea mărimilor acestor forțe. În tehnică nu este suficientă numai cunoașterea forțelor care acționează asupra pieselor mașinilor, deoarece orice corp supus acțiunii forțelor suferă și deformații. De aceea trebuie să se studieze și felul deformațiilor, mărimea lor și dacă materialul le poate suporta. Nu toate materialele se comportă la fel sub influența forțelor exterioare care le sînt aplicate. Unele își recapătă dimensiunile inițiale după îndepărtarea forței, altele rămîn deformate permanent.

Rezistența materialelor studiază deformațiile pe care le suferă corpurile sub acțiunea forțelor exterioare. Noțiuni empirice despre rezistența materialelor găsim din timpuri vechi, cînd omul își alegea materialele necesare uneltelor lui (arc, săgeți etc.), după necesitățile scopului urmărit. Probleme numeroase de rezistența materialelor găsim în lucrările lui Leonardo da Vinci. De la el știința rezistenței materialelor s-a dezvoltat continuu, atît pe cale teoretică cît și pe cale experimentală. Astăzi, nici o construcție de mașini, clădiri sau poduri nu se face fără să se calculeze în prealabil rezistența materialelor folosite. Numai ținînd seama de caracteristicile fiecărui material folosit și de condițiile în care este folosit acel material se pot face construcții durabile, fără să se facă risipă de material.

103. Deformații elastice. Corpurile au structură omogenă și sînt formate din particule (molecule, atomi, ioni) legate între ele prin forțe de atracție și de respingere, adică *forțe elastice*. Sub acțiunea acestor forțe, particulele care formează corpul se așază în anumite poziții, pentru care se realizează echilibrul dintre forțele de atracție și cele de respingere. Datorită forțelor interne elastice corpurile își mențin forma proprie. Dacă asupra corpurilor acționează forțe exterioare, acestea produc deformări, îndepărtînd sau apropiind particulele din care sînt formate corpurile.

Forțele de reacțiune elastice se opun acestor deformații: în cazul cînd particulele se depărtează, acționează forțele de atracție, iar în cazul cînd deformația apropie particulele, acționează forțele de respingere. Cînd încetează solicitarea forței exterioare, forțele de reacțiune elastice readuc

Scanned with OKEN Scanner

corpul la forma inițială. Deformația care dispare complet după încetarea solicitării exterioare se numește **deformație elastică.**

Deformația care nu dispare cînd încetează solicitarea exterioară se numește **deformație permanentă. Proprietatea corpurilor de a se deforma sub acțiunea forțelor exterioare și de a reveni la forma inițială după încetarea acțiunilor exterioare se numește elasticitate.** Toate corpurile sînt elastice într-un grad mai mare sau mai mic. Pentru ca deformația să fie elastică, ea nu trebuie să treacă peste o anumită limită, numită *limită de elasticitate.* După felul acțiunilor exterioare și al efectului produs de ele, corpurile pot suferi cinci feluri de deformații elastice simple: întindere, compresiune, încovoiere, forfecare, răsucire.

104. **Forțe elastice.** Existența forțelor care apar la deformații o putem verifica folosind un resort (fig. 124). Sub acțiunea solicitării exterioare G, resortul se alungește și această alungire, x, numită **elongație**, este arătată pe figură prin diferența dintre lungimea finală a resortului și lungimea lui inițială. Aplicînd o altă solicitare exterioară G_1, elongația va fi mai mare. Conform legii a treia a mecanicii, în resort ia naștere în același timp o forță de sens contrar F, care se opune deformării și care va fi îndreptată în sens contrar forței G. Această forță este de natură elastică și se numește **efort.** Resortul este în echilibru și nu se mai alungește în momentul în care aceste două forțe sînt egale. Cu cît solicitările exterioare sînt mai mari, cu atît eforturile, adică forțele elastice, intermoleculare, care iau naștere în interiorul corpului, sînt mai mari, și în același timp și elongația este mai mare.

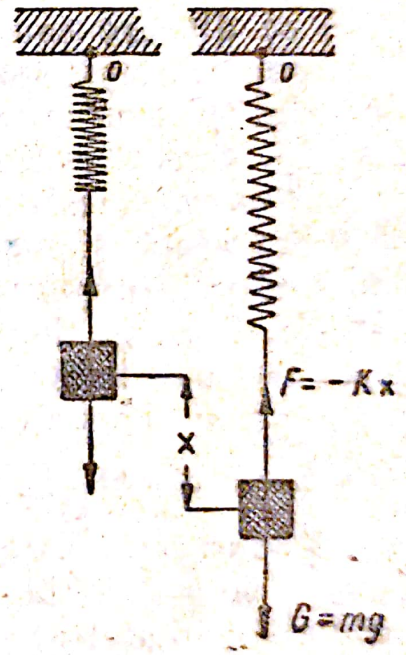

Fig. 124. — Verificarea forțelor de deformație.

Experiențe numeroase au arătat că elongațiile suferite de resort sînt direct proporționale cu forțele elastice, dar îndreptate în sens contrar. Ținînd seama de această relație, între elongație și forțele elastice se poate scrie: $F = -Kx$.

Scanned with OKEN Scanner

Se poate calcula ușor lucrul mecanic produs în cazul unei deformații elastice x.

În adevăr, forța elastică are inițial valoarea zero, iar la deformația x are valoarea F. Putem considera forța medie $\frac{F}{2}$. Lucrul mecanic va fi:

$$W = \frac{F}{2} \cdot x = \frac{Kx}{2} x = \frac{Kx^2}{2}.$$

Acest lucru mecanic se înmagazinează în corpul deformat sub formă de energie potențială E_p de deformație sau elastică.

Forțele elastice care apar la deformațiile corpurilor le-am mai întîlnit la dilatația corpurilor. La dilatație, sub acțiunea energiei calorice pe care o primește corpul, se micșorează coeziunea și spațiile intermoleculare cresc; în același timp apar în interiorul corpului forțele elastice de sens contrar alungirii, care readuc corpul la dimensiunile inițiale, imediat ce dispare cauza exterioară.

Prin dilatație termică se pot provoca alungiri corpurilor ca și în cazul cînd ele ar fi supuse unor forțe de întindere.

105. **Legea lui Hooke. Modulul de elasticitate.** Experiențe făcute cu materiale diferite au arătat că deformațiile elastice sînt proporționale cu forțele aplicate. Atît timp cît forța aplicată nu depășește o anumită valoare, firul rămîne elastic. Variația lungimii, adică diferența dintre lungimea finală și cea inițială, se înseamnă cu Δl. Pentru aceeași lungime și același material, variația lungimii depinde numai de *efortul unitar*, adică de $\frac{F}{S}$, unde F este forța, iar S suprafața asupra căreia acționează forța. Dublînd lungimea, se va dubla și alungirea și așa mai departe. Dacă schimbăm materialul, păstrîndu-i însă aceleași dimensiuni, vom constata că alungirile sînt tot proporționale cu forțele aplicate, dar au alte valori. Prin urmare, atît timp cît nu este depășită o anumită limită, se poate scrie relația:

$$\boxed{\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l},} \qquad (52)$$

denumită *legea lui Hooke*, în care $\frac{\Delta l}{l}$ este alungirea unității de lungime a materialului sau *alungirea relativă*, iar $\frac{F}{S}$ este

Scanned with OKEN Scanner

efortul unitar. E este modulul de elasticitate, numit și modulul lui Young. El prezintă valoarea:

$$E = \frac{F \cdot l}{S \cdot \Delta l},$$

din care putem deduce definiția lui.

Dacă $l = \Delta l$ și $S = 1$, atunci $E = F$. **Modulul de elasticitate al unei substanțe este numeric egal cu forța care, acționînd asupra unei bare cu secțiunea egală cu unitatea făcută din acea substanță, îi dublează lungimea.**

Modulul lui Young este o mărime constantă, care caracterizează fiecare material în parte. El se măsoară în dyne pe centimetru pătrat sau în kilograme-forță pe centimetru pătrat. Legea lui Hooke poate fi exprimată și sub altă formă. Din (52) se scoate valoarea forței F:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot \Delta l}{l}.$$

Raportul $\frac{E \cdot S}{l}$, fiind o mărime constantă pentru fiecare material supus experimentării, îl putem însemna cu K și toată expresia devine:

$$\boxed{F = K \cdot \Delta l.} \qquad (53)$$

Această relație reprezintă o altă expresie a legii lui Hooke (1676) și se poate enunța astfel:

Pînă la o anumită limită, deformația este direct proporțională cu forța aplicată.

Iată cîteva valori ale modulului de elasticitate E în kgf/cm²:

cauciuc	10
aluminiu	$7{,}5 \cdot 10^5$
alamă	10^6
cupru	$1{,}3 \cdot 10^6$
fier, oțel	$2{,}2 \cdot 10^6$

Problemă rezolvată. Șina de fier a unei roți de căruță trebuie încălzită la 100°C pentru a putea fi montată pe roată. Să se calculeze forța cu care șina strînge roata la temperatura obișnuită de 20°C. Secțiunea șinei de fier este de 6 cm².

Cantitatea Δl, cu care se dilată lungimea șinei prin încălzire la 100°C, poate fi calculată cu ajutorul formulei (31):

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta t,$$

Scanned with OKEN Scanner

încît formula lui Hooke dă:

$$F = \frac{ES}{l} \cdot \alpha \cdot l \cdot \Delta t = ES\alpha \cdot \Delta t.$$

Înlocuind datele problemei se obține:

$$F = 2{,}2 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 0{,}000012 \cdot 80 = 12\,672 \text{ kgf}.$$

106. Energia mecanică la deformarea corpurilor. Pentru deformarea unui corp, răsucirea unui arc etc. se cheltuiește un lucru mecanic. Datorită acestui lucru mecanic efectuat, corpul deformat înmagazinează un surplus de energie potențială. Această energie se poate transforma în alte forme de energie, conform legii conservării energiei. În adevăr, cînd acțiunea forței încetează, corpul își recapătă forma inițială, dar pentru aceasta el efectuează un lucru mecanic, care numeric va fi egal cu energia potențială acumulată la deformare. Un arc de ceasornic a acumulat o rezervă de energie potențială. Cînd se desfășoară, energia lui potențială este consumată pentru a reveni la forma inițială și pentru învingerea frecărilor din mecanismul ceasornicului (§ 104).

La orice deformare se acumulează o energie potențială, care este consumată, cînd corpul revine la forma inițială.

Întinderea. Experiență. Luăm o panglică de cauciuc (fig. 125) și trasăm pe ea un număr de linii transversale. Întindem cauciucul, trăgînd de ambele lui capete. Distanțele dintre linii se măresc, dar liniile rămîn tot transversale și drepte. Acest lucru dovedește că toate

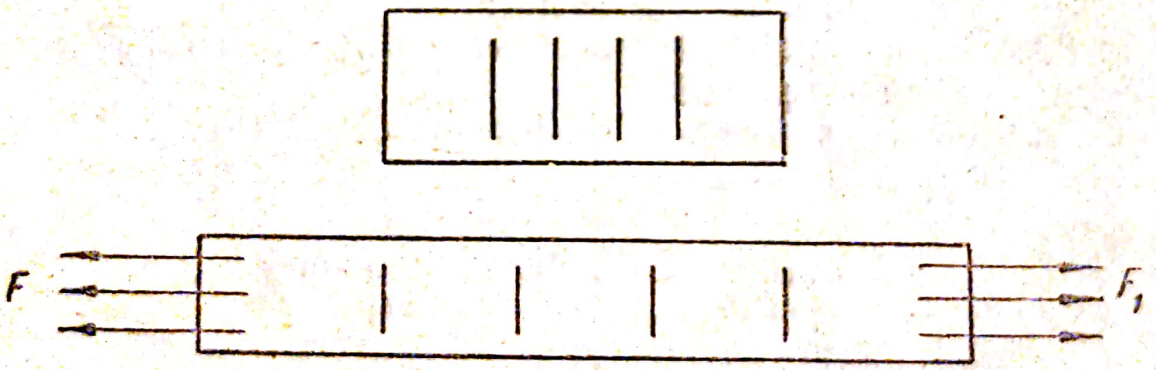

Fig. 125. — Panglica de cauciuc pentru dovedirea întinderii.

fibrele longitudinale ale cauciucului s-au alungit în măsură egală. Alungirea nu s-a produs numai la cele două capete la care am aplicat forțele, ci fiecare element al panglicii s-a alungit în aceeași proporție în care s-a alungit întreaga panglică.

Pentru a vedea care sînt forțele interioare care lucrează în această panglică, facem cu gîndul o secțiune în panglică, (fig. 126); ambele părți fiind în echilibru, înseamnă că forțele interioare țin cele două secțiuni legate între ele, altfel ele s-ar deplasa sub acțiunea solicitărilor exterioare F_1 și F_2. Rezultanta tuturor forțelor interioare dintr-o secțiune normală echilibrează forța exterioară. Ea se numește **forță elastică interioară** sau **efort** și este îndreptată în sens invers forței exterioare. Dacă secțiunea normală are de exemplu 5 cm², atunci pe fiecare centimetru pătrat lucrează efortul numit unitar, care este perpendicular pe secțiune și, prin urmare, de-a lungul axului corpului.

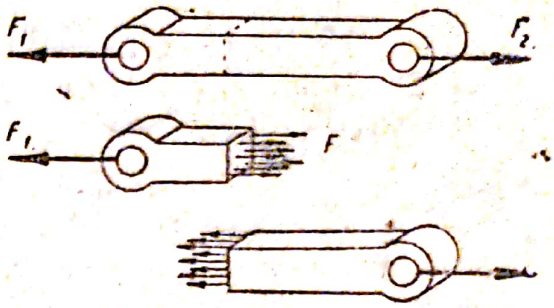

Fig. 126. — Secțiune într-o panglică.

Sînt supuse la solicitări de întindere: cablurile, frînghiile și lanțurile de la macarale, hamurile cailor, conductele electrice, lanțurile de la cuplajul vagoanelor de tren și tramvai etc.

108. **Compresiune.** Comprimarea unei bare se produce sub acțiunea a două forțe care lucrează tot perpendicular pe secțiune și de-a lungul axului, dar sînt îndreptate spre interiorul barei (fig. 127). Comprimarea unei bare produce scurtarea ei, prin urmare, există și aici o variație a dimensiunilor ei, dar în sens invers decît în cazul alungirii.
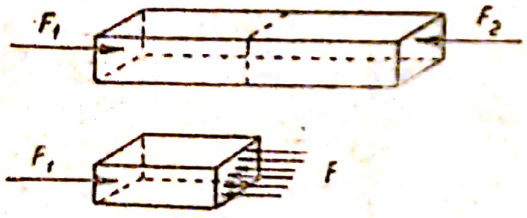
Fig. 127. — Comprimarea unei bare.

Cele două deformații — alungirea și comprimarea — sînt totuși legate între ele. Orice alungire este însoțită de o comprimare. Alungirea unui fir este însoțită de micșorarea secțiunii; apăsarea unei gume provoacă umflarea ei laterală etc. Solicitări de compresie se produc la stîlpi, coloane, ziduri, grinzi, socluri, biele etc.

109. **Încovoierea.** E x p e r i e n ț ă. Deformarea prin încovoiere se arată printr-o experiență simplă. Pe o gumă (fig. 128) trasăm mai multe linii paralele la distanțe egale. Îndoim guma ca în figură: distanțele dintre linii se micșorează în partea concavă a gumei și se mărese în partea convexă. Acest lucru dovedește că prin încovoiere guma

suferă în același timp o întindere și o comprimare. Ea este comprimată, în acest caz, în partea concavă și întinsă în cea convexă. Deformarea este din ce în ce mai mică spre mijlocul gumei, unde distanțele dintre linii nu prezintă nici o variație. Acest strat mijlociu n-a suferit nici o deformare de

Fig. 128. — Deformarea prin încovoiere.

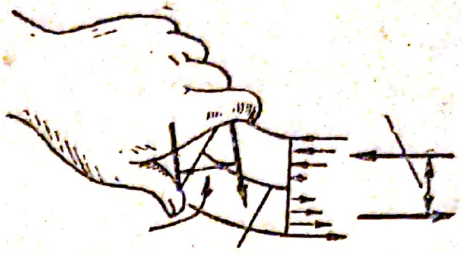

Fig. 129. — O secțiune într-o gumă supusă încovoierii.

întindere sau comprimare; el este un strat neutru. În stratul neutru nu există nici un fel de efort unitar.

Din figura 129 se poate vedea că pe fețele gumei lucrează două forțe paralele, egale și de sens contrar. Prin urmare, ele alcătuiesc un cuplu de forțe.

Să considerăm o grindă (fig. 130) sprijinită în punctele *A* și *B*. Încărcînd grinda cu o greutate oarecare, ea se încovoaie. Straturile superioare se scurtează, iar cele inferioare se lungesc. Aceeași deformare o suferă și o grindă fixată numai la un capăt.

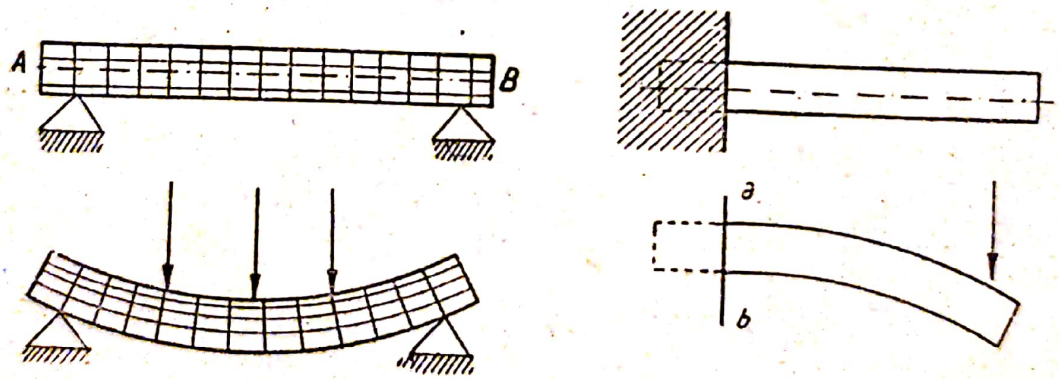

Fig. 130. — Încovoierea unei grinzi.

Deoarece la încovoiere se produc deformări maxime la fibrele extreme, pe cînd fibrele centrale nu sînt supuse eforturilor, grinzile, șinele se fac profilate în formă de *T*, de *H* sau în alt fel. În general se scoate material din partea centrală, solicitată mai puțin, și se adaugă în partea solicitată maxim. În felul acesta se realizează rezistențe mari

Scanned with OKEN Scanner

la încovoiere, cu material puțin. Tot așa se explică rezistența tuburilor de metal, a paielor etc. De aceleași constatări se face uz la betonul armat. De exemplu, la un planșeu de beton, fierul, mai rezistent la tracțiune, se găsește repartizat în partea supusă mai mult solicitărilor de tracțiune.

Solicitări de încovoiere se găsesc și la grinzile clădirilor, la poduri, arcade, arcul de automobil, un arbore în timpul strunjirii etc.

110. **Forfecarea.** Se produce forfecare dacă asupra unei bare (fig. 131) acționează două forțe (p) egale, opuse și aplicate perpendicular pe axa barei. Deformația de forfecare constă în strîngerea fibrelor longitudinale ale barei, în porțiunea cuprinsă între cele două forțe.

Dacă cele două forțe aplicate sînt mari, atunci rezistența materialului va fi depășită și bara va fi tăiată. Asemenea forfecări se întîlnesc în cazul tăierii cu foarfecele (fig. 131), la niturile și buloanele care îmbină diferitele părți ale unei mașini, la sudură, la îmbinări în lemn etc. Solicitarea de forfecare este un fenomen mai complex care se manifestă împreună cu alte feluri de solicitare.

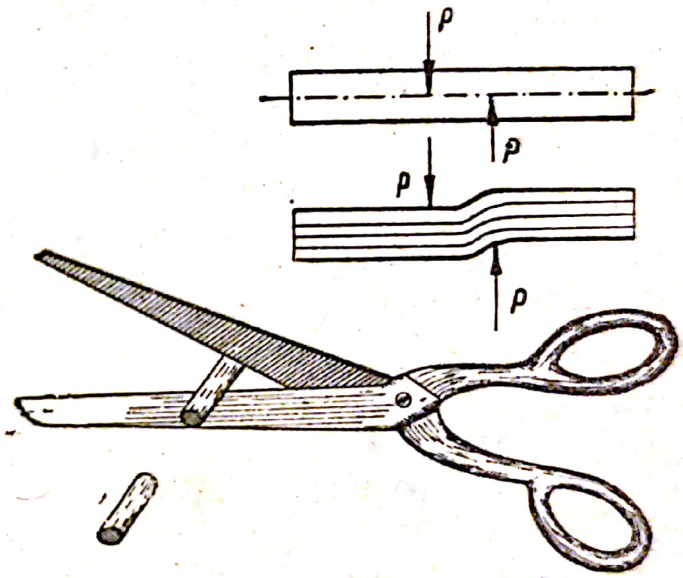

Fig. 131. — Foarfece pentru demonstrarea forfecării.

111. **Răsucirea sau torsiunea.** Experiență. Putem dovedi cu ușurință răsucirea, folosind un cilindru de cauciuc (fig. 132,*a*) și trasînd pe suprafața lui mai multe linii longitudinale și mai multe cercuri transversale. Răsucind cilindrul cu mîinile, se observă că liniile drepte longitudinale se transformă în linii elicoidale, iar dreptunghiurile formate de liniile longitudinale cu cercurile se deformează. Deformarea s-a produs în toată grosimea cilindrului, dar în mod neegal; deformarea este mai mică în apropierea axului cilindrului, așa cum se vede în figura 132, *b*.

Deformația de răsucire constă în rotația secțiunilor transversale ale barelor una față de alta, în jurul axului piesei.

Scanned with OKEN Scanner

Deformații de răsucire se produc la arborii mașinilor, axele de transmisie, burghie etc. Un arbore va fi cu atît mai rezistent la torsiune, cu cît diametrul său va fi mai mare. Dar mărind diametrul unui arbore, îi mărim în același timp greutatea, și mașina devine greoaie. Fără să periclităm rezistența arborelui, îi putem micșora greutatea dacă el este tubular în loc să fie masiv. Acest lucru poate fi realizat fără nici un pericol, pentru că eforturile unitare devin din ce în ce mai mici în apropiere de ax și, prin urmare, rezistența materialului este aproape complet nefolosită în această regiune. De aceea, arborii tubulari sînt întrebuințați la construcția automobilelor, avioanelor și oriunde sînt necesare piese care trebuie să aibă o greutate mică și totodată să prezinte o rezistență mare.

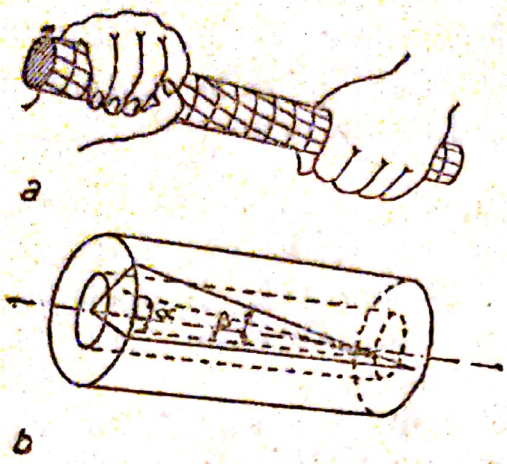

Fig. 132. — Răsucirea aplicată la un cilindru.

Materialele sînt supuse în același timp la mai multe solicitări și suferă simultan mai multe deformații. De exemplu, un șurub este supus în același timp și la forfecare (filetul), și la întindere (corpul șurubului), și la comprimare (filetul și capul). Un stîlp al unei clădiri este supus și la comprimare, datorită încărcărilor planșeelor și zidurilor, și la încovoiere, datorită grinzilor de care este legat. Arborele unei mașini este supus și la torsiune, și la încovoiere etc.

112. Elasticitate, limită de proporționalitate. Experiența arată că toate materialele sînt elastice, dar gradul lor de elasticitate este diferit. Să considerăm un fir metalic suspendat vertical, de care să atîrnăm succesiv greutăți din ce în ce mai mari, notînd de fiecare dată alungirea lui. Să reprezentăm grafic rezultatele, luînd pe abscisă alungirile relative (fig. 133), iar pe ordonată eforturile unitare corespunzătoare.

Pentru diferite materiale rezultatele numerice sînt altele, dar graficul obținut are aceeași formă $OABCD$. Dacă eforturile unitare nu depășesc valoarea OA_2, relația dintre efortul unitar și alungirea relativă este prezentată pe grafic prin porțiunea de dreaptă OA, conform legii lui Hooke. Valoarea OA_2 pînă la care este valabilă legea lui Hooke

se numește **limită de proporționalitate**. Pentru eforturi unitare mai mari decît A_1A, alungirea crește mai repede decît rezultă din legea lui Hooke, deformația rămînînd elastică pînă la **limita de elasticitate** (punctul B). Dincolo de valoarea B_1B, alungirea crește foarte repede, chiar pentru variații foarte mici ale efortului unitar. Regiunea BC se numește **zonă de curgere**: Dacă efortul unitar continuă să crească dincolo de C_1C, deformația crește extrem de repede pentru variații mici ale efortului unitar, pînă la punctul D, cînd firul se subțiază foarte mult, gîtuindu-se într-un punct, apoi se rupe. Valoarea maximă D_1D a efortului unitar, care corespunde ruperii materialului, se numește **rezistență la rupere**.

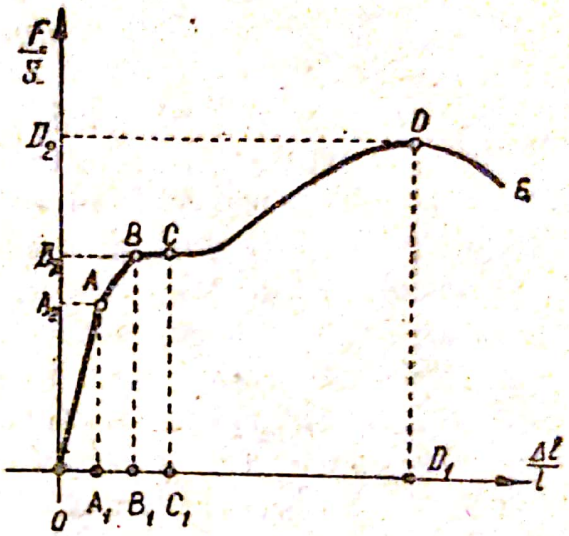

Fig. 133. — Reprezentarea grafică a alungirii.

113. **Viscozitate, fragilitate, plasticitate.** Trasînd curba întinderii cu probe de materiale diferite, constatăm că această curbă nu are întotdeauna aceeași înfățișare. Regiunea de elasticitate, adică regiunea deformațiilor elastice, poate fi mai scurtă sau mai lungă, sau poate lipsi aproape complet. Prin urmare, putem clasifica corpurile luînd drept criteriu de clasificare regiunea deformațiilor elastice.

Viscozitatea. Dacă regiunea deformațiilor elastice este mare, înseamnă că materialul poate fi supus la eforturi mari, fără să ne temem că va suferi deformații permanente sau se va rupe. Înainte de a se rupe, toate aceste materiale prezintă o regiune de fluiditate. **Materialele care prezintă o regiune de fluiditate înainte de a se rupe se numesc materiale vîscoase**, iar această proprietate se numește viscozitate.

Întîlnim viscozitate la majoritatea metalelor, la oțel, la cauciuc etc.

Fragilitatea. La unele materiale, regiunea de elasticitate este foarte mică, adică aceste materiale pot suferi deformații elastice, dar în limite extrem de mici. Pe diagrama acestor materiale nu se observă regiunea de fluiditate. Cu alte cuvinte, ele se rup imediat.

Materialele care nu prezintă o regiune de fluiditate înainte de a se rupe se numesc substanțe fragile. Cele mai obișnuite substanțe fragile sînt sticla, fonta, betonul.

Plasticitatea. La alte materiale, regiunea deformațiilor elastice lipsește aproape complet. **Materialele care nu prezintă regiunea deformărilor elastice se numesc substanțe plastice.** Pentru forțe destul de mici se obțin deformații permanente și, cu cît deformarea permanentă este mai puternică, cu atît materialul este mai plastic. Exemple de corpuri plastice sînt: ceara, argila plastică, firul incandescent. Plasticitatea este o proprietate neavantajoasă a materialelor. Și corpurile cele mai elastice pot suferi deformații plastice, dar numai cînd forțele care acționează asupra lor au valori foarte mari.

Viscozitatea, fragilitatea și plasticitatea nu sînt proprietăți absolute ale corpurilor. Ele pot varia dacă se schimbă condițiile de temperatură și presiune.

114. **Prelucrarea materialelor.** Cunoașterea proprietăților elastice ale materialelor este necesară la diferitele feluri de prelucrare a materialelor ca: ștanțare, trefilare, laminare, matrițare și așchiere.

Ștanțarea este tăierea materialului cu ajutorul unei ștanțe (tipar) care se montează într-o piesă. Apăsînd și mărind forța cu care se lucrează, materialul suferă o deformare permanentă și este tăiat prin forfecare. Ștanțarea se poate face la rece sau la cald, în funcție de materialul folosit.

Trefilarea constă în tragerea în sîrme a unui material printr-o filieră, cu ajutorul unei forțe de tracțiune. Trefilarea se bazează pe deformarea prin curgere a materialului și se face de obicei la rece. Prin trefilare se obțin fire de diferite dimensiuni.

Laminarea este prelucrarea materialelor metalice sau nemetalice, feroase ori neferoase, prin apăsare transversală a piesei, pentru a transforma un lingou în produs semifabricat sau a acestuia în produs laminat. Laminarea este o deformare prin curgere, datorită comprimării și se poate face la cald sau la rece. Prin laminare se pot obține foi ori șine cu diferite profile, ca șine de tren, de tramvai etc. Producția sporită de laminate de oțel va fi asigurată prin dezvoltarea laminoarelor existente, precum și de noua secție de laminare de mare capacitate de la Hunedoara, de noul laminor de benzi la rece și de noul laminor de la uzinele „Republica" din București.

Matrițarea este deformarea plastică sub presiune, la rece sau la cald, a unui material plastic, a unui metal sau

Scanned with OKEN Scanner

a unui alt material, cu ajutorul unei matriţe. Acest fel de prelucrare se aplică la construirea de maşini, matriţîndu-se arbori cotiţi, biele, axe etc.

Aşchierea este o metodă de prelucrare a materialelor, foarte răspîndită în industria prelucrătoare. Ea constă în desprinderea de aşchii din material, pentru a-i modifica forma sau dimensiunile.

Aşchierea se foloseşte la: burghiere, dăltuire, ferestruire, frezare, pilire, polizare, strunjire, rabotare etc.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este deformaţia elastică?
2. Ce este deformaţia permanentă?
3. Enunţaţi legea lui Hooke.
4. Ce se numeşte modulul lui Young?
5. Cîte feluri de deformaţii simple cunoaşteţi?
6. Ce se numeşte efort unitar?
7. Comparaţi deformarea prin comprimare cu deformarea prin alungire.
8. Comparaţi forfecarea cu încovoierea şi răsucirea.

PROBLEME

1. Pentru a măsura modulul lui Young, o greutate de 450 kgf este atîrnată de un fir de oţel lung de 5 cm, cu secţiunea de 0,0625 cm^2; se găseşte că alungirea absolută a firului este de 0,018 cm. Care sînt: efortul unitar, alungirea relativă şi modulul de elasticitate al firului de oţel?

Răspuns: 7 200 kgf/cm^2; 0,0036 cm; $2 \cdot 10^6$ kgf/cm^2.

2. O bară de oţel rotundă cu lungimea de 4,5 m, sub acţiunea unei forţe de întindere de 10 tone, a căpătat o alungire de 0,455 mm. Să se afle diametrul barei. $E = 2\,000\,000$ kgf/cm^2.

Răspuns: 7,95 cm.

3. Ce presiune trebuie aplicată la capetele unui cilindru de oţel, pentru ca lungimea lui să rămînă neschimbată, cînd este încălzit cu 100°C?

Răspuns: 2 332 atm.

4. Pe roata unui vagon se aplică un bandaj de oţel la temperatura de 300°C. Să se calculeze efortul din bandaj la 20°C, dacă secţiunea bandajului este de 20 cm^2.

Răspuns: $1{,}3 \cdot 10^5$ kgf.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 5

Determinarea legăturii dintre deformaţie şi forţa care deformează

Materialul necesar: Un resort sau un dinamometru, o riglă gradată şi o serie de greutăţi cu cîrlig.

Modul de lucru: Măsurăm lungimea l a resortului. Suspendăm pe resort o greutate G_1 şi măsurăm noua sa lungime l_1. Alungirea absolută a resortului va fi $l_1 - l$. Variem greutăţile aplicate

Scanned with OKEN Scanner

resortului, trecem datele într-un tabel și calculăm de fiecare dată alungirea absolută. Facem apoi raportul:

$$\frac{G_1}{l_1 - l} = \frac{G_2}{l_2 - l} = \frac{G_3}{l_3 - l} \ldots = K.$$

Din această relație deducem că forța elastică, fiind de sens contrar greutății G, este egală cu $F = -K\Delta l$, adică este direct proporțională cu alungirea. Am verificat în acest mod legea lui Hooke.

G gf	Lungimea inițială cm	Lungimea finală cm	Δl cm	K gf/cm

SCHIMBAREA STĂRII DE AGREGARE

115. Schimbarea stării de agregare. În viața practică obișnuim să clasificăm corpurile din punctul de vedere al stărilor de agregare în : solide, lichide și gaze. Un corp solid are formă și volum propriu; un lichid are volum propriu, dar nu are formă proprie. Un gaz nu are nici volum, și nici formă proprie ; el este expansibil. Cu condiția să nu se descompună la temperaturi ridicate, orice substanță poate exista în toate cele trei stări de agregare sau faze, în anumite condiții de temperatură și presiune. Trecerea dintr-o fază într-alta se face cu absorbție de căldură, sau cu degajare de căldură, și poate fi ilustrată prin următoarea schemă (fig. 134).

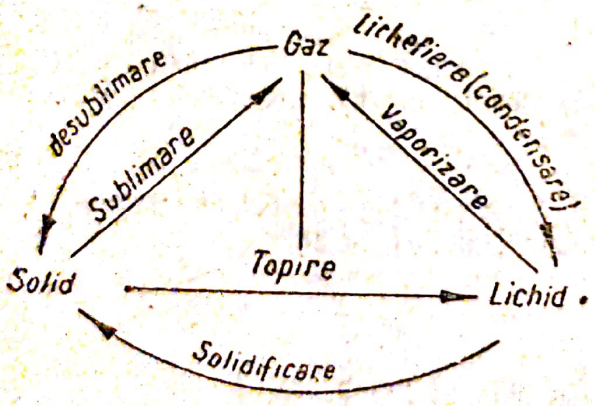

Fig. 134. —Schema schimbării stărilor de agregare.

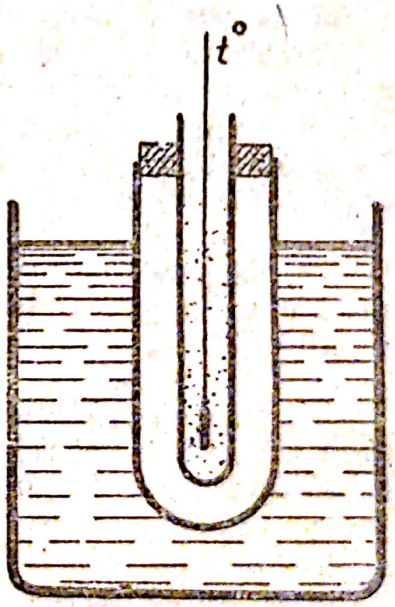

Fig. 135. — Topirea naftalinei.

116. Topire și solidificare. E x p e r i e n ț ă. Într-o eprubetă introducem naftalină cristalizată și un termometru (fig. 135). Pentru a încălzi naftalina încet și uniform, epru-

beta este cufundată în altă eprubetă goală și ambele sînt încălzite pe o baie cu apă. Citim temperatura la termometru la intervale egale de timp. La început coloana de mercur a termometrului urcă treptat.

Luăm pe abscisa unui grafic timpul, iar pe ordonată temperaturile corespunzătoare, citite la termometru (fig. 136). Urcarea treptată a temperaturii este reprezentată prin linia ascendentă AB. În momentul în care apar primele picături de naftalină lichidă, termometrul arată temperatura de 79°C; temperatura rămîne acum constantă, pînă cînd toată naftalina cristalizată se transformă în naftalină lichidă. Graficul este reprezentat prin dreapta orizontală BC, mai scurtă sau mai lungă, după cum încălzirea a fost mai puternică sau mai puțin puternică. Cînd toată naftalina s-a transformat în lichid, coloana de mercur a termometrului începe să urce din nou, arătînd o nouă ridicare a temperaturii, care pe grafic este reprezentată prin dreapta ascendentă CD.

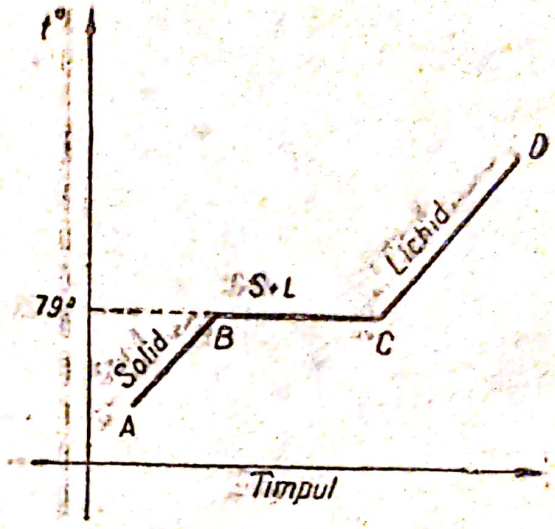

Fig. 136. — Graficul topirii naftalinei.

Ori de cîte ori repetăm experiența, obținem același grafic, caracterizat printr-o linie orizontală la temperatura de 79°C, ceea ce dovedește că în tot timpul topirii temperatura se menține constantă.

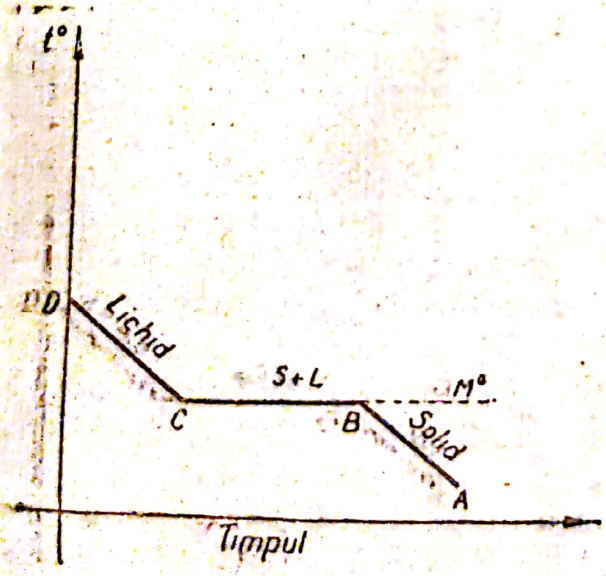

Fig. 137. — Diagrama răcirii unui lichid.

Același tip de diagramă se obține dacă repetăm experiența cu orice substanță solidă cristalizată.

Corpurile amorfe se moaie încetul cu încetul înainte de a se topi, încît ele nu au punct fix de topire (ceara, sticla), iar altele se descompun înainte de a ajunge la temperatura de topire (calcarul).

beta este cufundată în altă eprubetă goală și ambele sînt încălzite pe o baie cu apă. Citim temperatura la termometru la intervale egale de timp. La început coloana de mercur a termometrului urcă treptat.

Luăm pe abscisa unui grafic timpul, iar pe ordonată temperaturile corespunzătoare, citite la termometru (fig. 136). Urcarea treptată a temperaturii este reprezentată prin linia ascendentă AB. În momentul în care apar primele picături de naftalină lichidă, termometrul arată temperatura de 79°C; temperatura rămîne acum constantă, pînă cînd toată naftalina cristalizată se transformă în naftalină lichidă. Graficul este reprezentat prin dreapta orizontală BC, mai scurtă sau mai lungă, după cum încălzirea a fost mai puternică sau mai puțin puternică. Cînd toată naftalina s-a transformat în lichid, coloana de mercur a termometrului începe să urce din nou, arătînd o nouă ridicare a temperaturii, care pe grafic este reprezentată prin dreapta ascendentă CD.

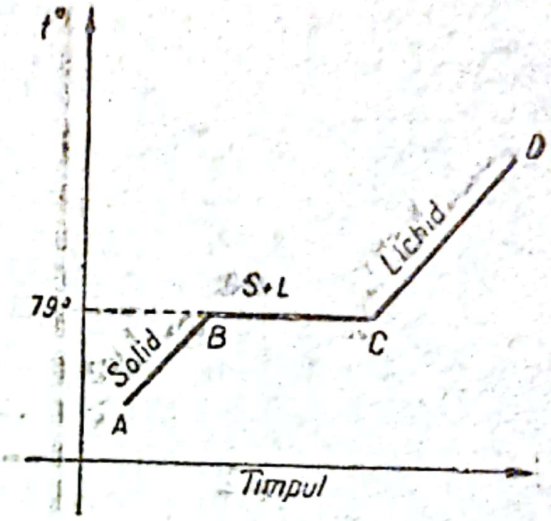

Fig. 136. — Graficul topirii naftalinei.

Ori de cîte ori repetăm experiența, obținem același grafic, caracterizat printr-o linie orizontală la temperatura de 79°C, ceea ce dovedește că în tot timpul topirii temperatura se menține constantă.

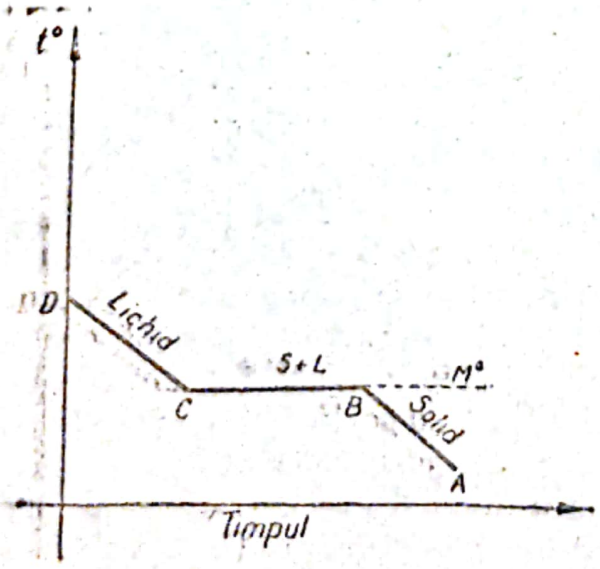

Fig. 137. — Diagrama răcirii unui lichid.

Același tip de diagramă se obține dacă repetăm experiența cu orice substanță solidă cristalizată.

Corpurile amorfe se moaie încetul cu încetul înainte de a se topi, încît ele nu au punct fix de topire (ceara, sticla), iar altele se descompun înainte de a ajunge la temperatura de topire (calcarul).

Experiență. Naftalina topită este încălzită mai departe pînă în jurul temperaturii de 100°C și lăsată apoi să se răcească, agitînd-o din cînd în cînd. Dacă notăm pe un grafic temperatura citită, la intervale egale de timp, obținem diagrama răcirii lichidului, adică dreapta descendentă *DC* (fig. 137). În momentul apariției primului cristal de naftalină, temperatura citită pe termometru este de 79°C, rămînînd constantă pînă cînd transformarea naftalinei lichide în naftalină cristalizată este completă. Pe grafic apare dreapta orizontală *CB*. Temperatura scade apoi din nou și pe grafic apare dreapta descendentă *BA*.

Experiențele făcute cu diferite corpuri cristalizate perfect pure au dus la enunțarea următoarelor legi:

1. **Sub presiune constantă, un corp cristalizat se topește la o temperatură anumită și bine determinată, numită temperatura de topire.**
2. **Sub presiune constantă, un corp lichid se solidifică la o temperatură anumită și bine determinată, numită temperatură de solidificare.**
3. **Sub presiune constantă, aceste două temperaturi sînt identice pentru un anumit corp și rămîn constante tot timpul cît durează topirea sau solidificarea.**

Această temperatură caracteristică pentru fiecare corp absolut curat ne slujește drept criteriu pentru stabilirea purității substanțelor. Temperatura de topire a corpurilor la presiune normală se numește **temperatură normală de topire.**

Temperaturi normale de topire (în grade centigrade)

Hidrogen	—259	Plumb	327
Mercur	— 38	Aluminiu	658
Gheață	0	Aur	1 063
Fosfor alb	44	Cupru	1 083
Sodiu	97	Wolfram	3 380

117. Căldura latentă de topire. În tot timpul topirii naftalinei n-am îndepărtat izvorul de căldură și totuși temperatura a rămas constantă. Putem trage concluzia că toată cantitatea de căldură cedată de izvor a fost întrebuințată numai pentru trecerea corpului din faza solidă în faza lichidă. Prin urmare, topirea unui corp se face cu absorbție de căldură. Această energie calorică înmagazinată de corp n-a fost înregistrată de termometru, de aceea Tyndall a numit-o **căldură latentă** — adică ascunsă. Deoarece în tot timpul topirii temperatura rămîne constantă, înseamnă că energia

Scanned with OKEN Scanner

calorică primită de corp nu mai este folosită la creșterea vitezei medii a moleculelor lui, ci este folosită pentru micșorarea coeziunii moleculare. Toată energia calorică latentă absorbită în timpul topirii este folosită numai pentru distrugerea rețelei cristaline, de aceea ea nu poate fi înregistrată de termometru.

Se numește căldură latentă specifică de topire cantitatea de căldură absorbită de un gram dintr-un corp în stare solidă, pentru a trece în stare lichidă la temperatura de topire.

Căldura latentă specifică de topire a naftalinei este de 36 de calorii pe gram, adică, pentru a transforma un gram de naftalină cristalizată în naftalină lichidă la temperatura de 79°C, sînt necesare 36 de calorii.

Invers, cînd un corp se solidifică, cedează mediului înconjurător, pentru fiecare gram, o cantitate de căldură egală cu căldura latentă specifică de topire.

Căldura latentă specifică de topire depinde de natura corpurilor.

Căldurile latente specifice de topire în calorii pe gram

Gheață	79,7	Sulf (rombic)	9,4
Aluminiu	77	Plumb	5,4
Naftalină	36	Fosfor (alb)	7,5
Argint	21	Mercur	2,8

Acest tabel ne permite să facem cîteva observații:

1) Căldurile latente specifice de topire sînt mult mai mari decît căldurile specifice.

2) Gheața are o căldură latentă specifică de topire mare, ceea ce explică rolul ei moderator în clima regiunilor. În anotimpurile reci, înghețarea apei este însoțită de degajarea căldurii latente de topire — căldură care împiedică o scădere bruscă a temperaturii. Dimpotrivă, în timpul dezghețului, cantitatea mare de căldură absorbită de gheață pentru a se topi înlătură o încălzire bruscă și toate neajunsurile legate de ea. Din acest motiv, la aceleași latitudini, regiunile maritime au o climă mult mai blîndă decît regiunile continentale.

118. **Variația volumului corpurilor prin topire sau solidificare.** În mod obișnuit, *prin topire volumul unui corp crește.* Solidificarea este însoțită de o micșorare a volumului. Putem verifica acest fenomen în cazul naftalinei. Topim naftalina într-o eprubetă și o lăsăm să se răcească. După

Scanned with OKEN Scanner

solidificare se va observa o adîncitură în suprafața care la început era plană și orizontală. Rezultatele pot fi înscrise cu ușurință pe graficul din figura 138. La temperatura de topire se produce o creștere bruscă a volumului, reprezentată pe grafic (fig. 138, *a*) prin dreapta verticală *BC*.

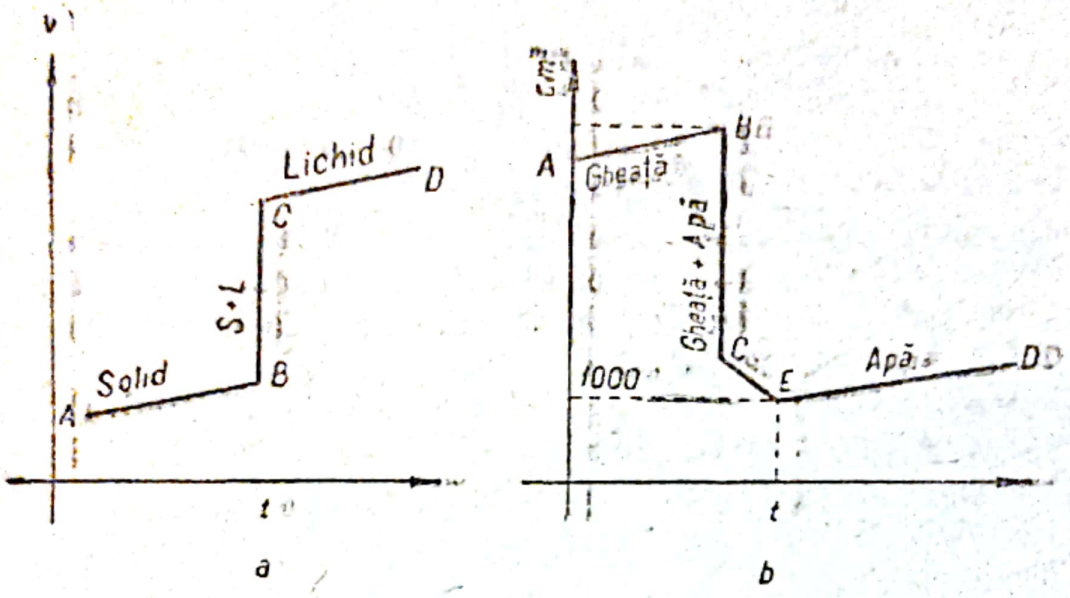

Fig. 138. — Variația volumului corpurilor prin topire sau solidificare.

Există unele corpuri care nu se comportă după această regulă generală — apa, bismutul, argintul, fonta (fig. 138, *b*). În aceste cazuri, la temperatura de topire, volumul se micșorează, deci la solidificare volumul va crește. Ca urmare, corpul solid este mai puțin dens și plutește în aceeași substanță lichidă. Măsurători exacte au arătat că 100 cm³ de apă dau prin solidificare la 0°C 109 cm³ de gheață. Această mărire a volumului prin înghețare provoacă spargerea țevilor, radiatoarelor de calorifer și a oricăror instalații dacă, din neglijență, n-au fost golite de apă iarna cînd temperatura a scăzut sub 0°C. Spargerea rocilor în timpul iernii are aceeași cauză. Din același motiv, în radiatoarele automobilelor se toarnă iarna un amestec de apă cu glicerină, amestec care se solidifică la o temperatură mult mai scăzută decît 0°C.

119. Influența presiunii asupra temperaturii de topire. Variațiile presiunii atmosferice fiind mici, multă vreme nu s-a putut constata nici o legătură între temperatura de topire și presiunea exterioară. De-abia în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, cînd s-au putut obține presiuni mari, s-a putut constata că temperatura de topire depinde

de presiunea exterioară la care este supus corpul. *Corpurile care își măresc volumul prin topire se topesc la o temperatură mai mare, cînd presiunea exercitată asupra lor crește.*

În cazul gheții, temperatura de topire se micșorează cînd presiunea crește. De exemplu, la presiunea de 10 atmosfere, temperatura de topire a gheții scade cu —0,075°C.

Influența presiunii asupra temperaturii de topire explică multe fenomene din natură, printre care fenomenul reînghețării, ilustrat prin experiența lui Tyndall (fig. 139).

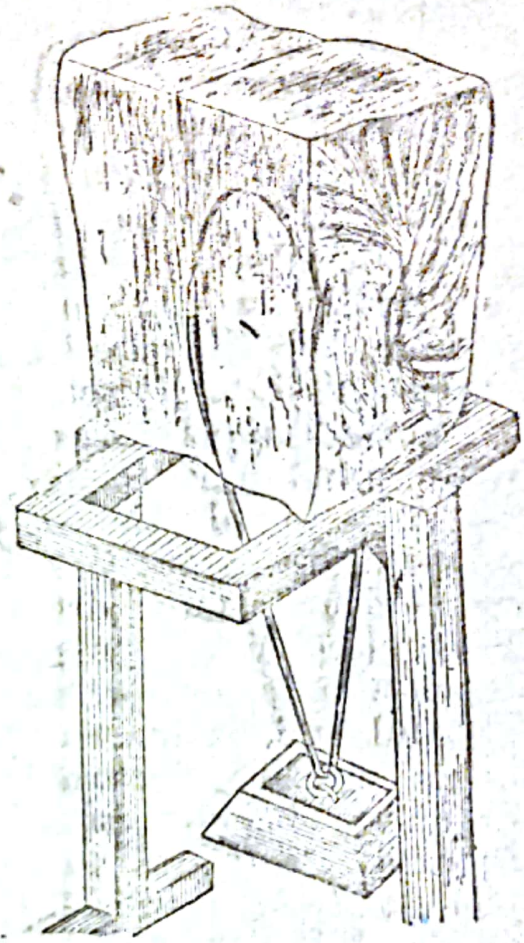

Fig. 139. — Experiența lui Tyndall.

Experiență. Așezăm un bloc de gheață pe două suporturi. Experiența se face într-un mediu cu $t < 0°C$. O sîrmă este trecută peste bloc și de capetele ei se atîrnă o greutate de 20 kg. Se observă că sîrma trece prin blocul de gheață încetul cu încetul, dar imediat blocul de gheață se reface în urma sîrmei, încît, atunci cînd sîrma a străbătut blocul și greutatea a căzut, blocul este intact. Ce s-a petrecut? Sîrma exercită o presiune considerabilă asupra gheții în punctele de contact, din cauză că suprafața de contact cu gheața este foarte mică. La această presiune, temperatura de topire a gheții este mai mică decît 0°C și, prin urmare, gheața se topește. Imediat ce sîrma a trecut, apa formată, care se găsea la o temperatură mai mică decît 0°C, îngheață, fiind acum la presiunea atmosferică. Ea pune în libertate căldura latentă de topire, căldură care ajută la topirea gheții de sub sîrmă și așa mai departe.

Lentila de gheață nu este decît rezultatul aceluiași fenomen. Într-un tipar de lemn se comprimă puternic bucățele de gheață pisată. Din tipar putem scoate apoi o lentilă de gheață perfect omogenă și transparentă. Aceste experiențe explică curgerea domoală a ghețarilor. Straturile

inferioare, comprimate puternic sub greutatea ghețarului, se topesc și apa îngheață îndată ce a scăpat de presiunea exercitată asupra ei.

120. **Influența substanțelor dizolvate asupra temperaturii de topire și solidificare.** Temperatura de solidificare a unui lichid scade cînd în lichid sînt dizolvate alte substanțe. În practică este cunoscut și folosit acest fenomen. În radiatoarele automobilelor, iarna, apa se amestecă cu glicerină. O soluție de 29 g sare în 100 g apă îngheață la aproximativ —21°C.

Această proprietate a temperaturii de topire de a se micșora în prezența altor corpuri străine este folosită la obținerea aliajelor. Temperatura de topire a celor mai multe aliaje este mai mică decît temperatura de topire a fiecărui metal din care este alcătuit aliajul. Aliajul folosit de tinichigii la lipirea metalelor este compus din cositor și plumb. Temperatura de topire a cositorului este de 232°C, iar a plumbului de 327,3°C. Aliajul tinichigiilor format din o parte plumb și două părți cositor se topește la temperatura de 181°C, o temperatură mult mai mică decît temperaturile de topire a fiecărui metal în parte.

Topirea metalelor și aliajelor este folosită în tehnică la executarea pieselor metalice prin turnare. În acest scop, metalul topit se toarnă într-o formă al cărei interior corespunde piesei de turnat. Prin solidificarea metalului în formă se obține piesa brută, care este apoi prelucrată și finisată. Pentru ca turnarea unei piese să dea rezultate bune, trebuie ca substanța topită să umple complet forma, adică să fie cît mai fluidă.

Aliajele sînt mai fluide decît metalele. De exemplu, fluiditatea cuprului pur crește prin adăugarea de staniu. Fluiditatea metalelor crește cînd temperatura la care se execută turnarea crește și ea. La turnarea pieselor metalice trebuie să se țină seama și de contracția metalelor și aliajelor la solidificare și răcire.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Comparați fenomenul de topire cu cel de solidificare.
2. Ce se numește căldură latentă de topire și cum poate fi determinată?
3. De cine depinde variația temperaturii de topire?
4. Ce variație suferă volumul corpului prin topire?
5. Explicați topirea cu ajutorul teoriei cinetico-moleculare.

Scanned with OKEN Scanner

PROBLEME

1. Să se calculeze cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi 100 g de plumb de la 20°C la 400°C. Să se reprezinte grafic variația cu temperatura a cantității de căldură necesară plumbului pentru a-și ridica temperatura de la 20°C la 400°C.

Răspuns: 1 680 calorii.

2. Pentru a determina căldura latentă de topire a plumbului, încălzim 100 g de plumb pînă la temperatura de 400°C, apoi îl turnăm într-un cilindru de aluminiu cu masa de 200 g, a cărui temperatură inițială este de 18°C. Temperatura finală este de 55,6°C. Să se calculeze căldura latentă de topire a plumbului.

Răspuns: 5,42 cal/g.

3. Amestecăm gheața la 0°C cu apă la 40°C, în mase egale. La sfîrșit mai există gheață netopită. Să se calculeze proporția de gheață netopită.

Răspuns: Se topește jumătate din gheață.

4. Dintr-un cuptor se scoate o bucată de platină de 100 g, care este aruncată pe o bucată de gheață cu temperatura de 0°C. Gheața se topește și apa rezultată are masa de 40 g. Care este temperatura cuptorului?

Răspuns: 1 138,5°C.

5. Într-un răcitor se pun zilnic 5 kg de gheață cu temperatura de 0°C și a doua zi toată gheața este topită și apa rezultată are tot temperatura de 0°C. Care este cantitatea de căldură pe care o primește zilnic răcitorul de la mediul înconjurător? Cît de mare este cantitatea de căldură primită în fiecare secundă? Ce cantitate de gheață ar trebui adăugată, dacă se introduce în răcitor 1 l de apă cu temperatura de 100°C?

Răspuns: 398,5 kcal; 4,61 cal/s; 1,25 kg.

6. 1 kg de gheață cade de la 10 m înălțime. Care este cantitatea de căldură degajată în momentul izbirii? Ce cantitate de gheață s-ar topi dacă toată căldura dezvoltată ar fi absorbită de blocul de gheață?

Răspuns: 23,4 cal; 0,29 g.

VAPORIZARE ȘI CONDENSARE

121. **Vaporizarea.** Se numește vaporizare trecerea unui corp din faza lichidă în faza gazoasă. Trecerea din faza solidă în faza lichidă se face totdeauna prin încălzirea corpului solid, la o anumită presiune, la o temperatură bine determinată. Trecerea din faza lichidă în faza gazoasă se face spontan, indiferent de temperatură. De asemenea, această schimbare a stării de agregare poate avea loc în vid, într-un spațiu închis sau în aer liber. Prin urmare, sînt diferite moduri prin care se poate vaporiza un lichid.

Scanned with OKEN Scanner

122. **Vaporizarea în vid. Experiență.** Umplem cu mercur mai multe tuburi barometrice, pe care le astupăm cu degetul și apoi le răsturnăm într-o cuvă cu mercur (fig. 140). În unul din tuburi introducem, cu ajutorul unei pipete, o picătură de eter. Cînd eterul ajunge în vidul barometric se vaporizează și, în același timp, nivelul mercurului scade (fig. 140, *b*). Nivelul mercurului a scăzut din cauza presiunii exercitate de vaporii de eter, presiune măsurată prin denivelarea *h*, în raport cu înălțimea mercurului din tubul martor (fig. 140, *a*). Altă picătură de eter introdusă se vaporizează imediat și produce o nouă denivelare a coloanei de mercur. Presiunea pe care o exercită acești vapori depinde de cantitatea de eter vaporizată. Acești vapori se numesc **vapori nesaturanți**, deoarece în prezența lor nu există în spațiul de deasupra mercurului din tub nici o urmă de eter lichid.

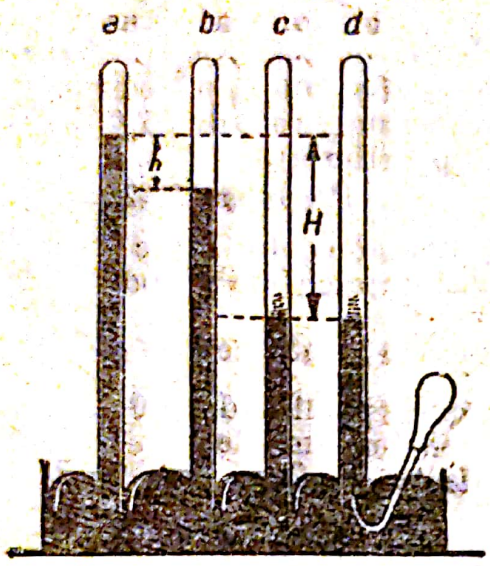

Fig. 140. — Vaporizarea în vid.

Continuînd să introducem eter, curînd nivelul mercurului nu mai coboară, eterul nu se mai vaporizează și rămîne în stare lichidă la suprafața mercurului. Vaporii se numesc acum **vapori saturanți**, iar presiunea *H* (fig. 140, *c*), corespunzătoare lor, se numește **presiune de saturație**. Ea reprezintă cea mai mare presiune pe care o pot exercita vaporii de eter la temperatura la care s-a făcut experiența și este independentă de cantitatea de lichid care rămîne în contact cu vaporii. **Se numesc vapori saturanți vaporii aflați în echilibru dinamic cu lichidul din care iau naștere.**

123. **Explicarea vaporizării prin teoria cinetico-moleculară.** Între moleculele lichidului există forțe de coeziune care au o valoare destul de mare și de aceea moleculele vecine cu suprafața liberă au prea puține posibilități să iasă prin suprafață. Moleculele care au viteze mai mari pot ieși din sfera de atracție moleculară a cărei rază este de aproximativ 10^{-6} cm. O dată eliberate, ies din lichid, transformîndu-se în vapori. Acest fenomen se numește *vaporizare*. Moleculele ieșite afară din lichid se lovesc de moleculele învecinate și unele dintre ele pot reintra

Scanned with OKEN Scanner

în lichid. Cînd numărul moleculelor care ies este mai mare decît al celor care intră, fenomenul se numește vaporizare, iar cînd numărul moleculelor care ies este egal cu numărul moleculelor care intră, se stabilește un echilibru dinamic; vaporizarea nu mai continuă, iar vaporii sînt saturanți. Cînd numărul moleculelor care intră în lichid este mai mare decît al celor care ies, fenomenul se numește *condensare* și este un fenomen invers vaporizării. Toți factorii care pot provoca o mărire a vitezei moleculelor vor înlesni deci producerea fenomenului de vaporizare.

124. **Proprietățile vaporilor nesaturanți.** Vaporii nesaturanți se supun aproximativ legilor Boyle-Mariotte și Gay-Lussac. Abaterile sînt mai mari decît ale gazelor obișnuite și sînt cu atît mai mari, cu cît acești vapori sînt mai aproape de starea de saturație. Nu există deosebiri fundamentale între vapori și gaze. Numim gaze corpurile care la temperatura normală au această stare de agregare. Orice gaz poate fi considerat ca vapori nesaturanți ai unui anumit lichid; aerul, de exemplu, reprezintă vapori de aer lichid.

125. **Studiul vaporilor saturanți.** Presiunea vaporilor saturanți nu depinde de masa lichidului și a vaporilor saturanți în contact; ea va depinde numai de natura lichidului și, pentru același lichid, de temperatură. *a)* Influența naturii lichidului asupra presiunii vaporilor saturanți. Experiență. Umplem cu mercur patru tuburi barometrice (fig. 141), pe care le întoarcem în aceeași cuvă cu mercur. Primul va servi ca martor, iar în celelalte trei introducem apă, alcool și eter în cantitate suficientă pentru ca în fiecare tub să se producă vapori saturanți ai lichidului introdus. Denivelările coloanelor de mercur în raport cu tubul martor, pentru aceeași temperatură, sînt foarte diferite. Deoarece aceste denivelări măsoară

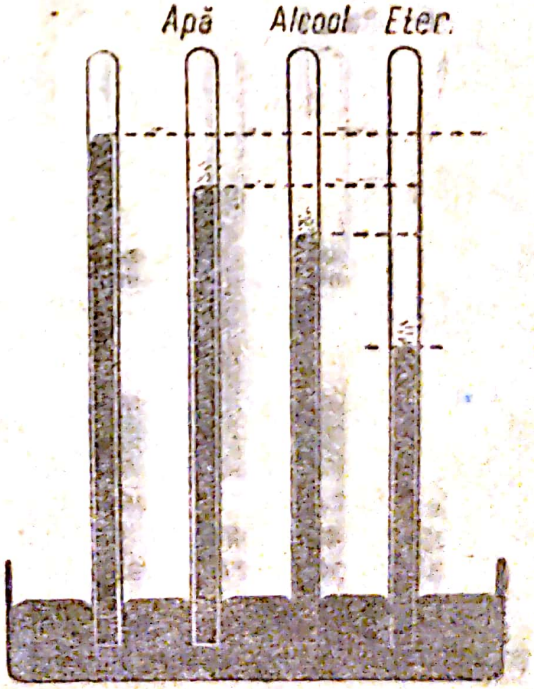

Fig. 141. — Studiul vaporilor saturanți.

presiunea vaporilor saturanți, putem trage următoarea concluzie:

Presiunea vaporilor saturanți la o anumită temperatură depinde de natura lichidului.

Presiunea vaporilor saturanți F, la temperatura de 20°C, pentru:

Apă	17,5	torr
Alcool	44	torr
Eter	440	torr

Din aceste date se constată că un corp este cu atît mai volatil, cu cît presiunea vaporilor lui saturanți este mai mare.

b) Influența temperaturii asupra presiunii vaporilor saturanți. Experiență. Folosim dispozitivul din figura 142 foarte ușor de realizat. Peste un cilindru de sticlă Pyrex, în interiorul căruia s-a introdus un tub barometric, se înfășoară o sîrmă, construindu-se astfel o rezistență electrică. Trecînd un curent electric prin această rezistență, putem ridica, încetul cu încetul, temperatura tubului barometric,

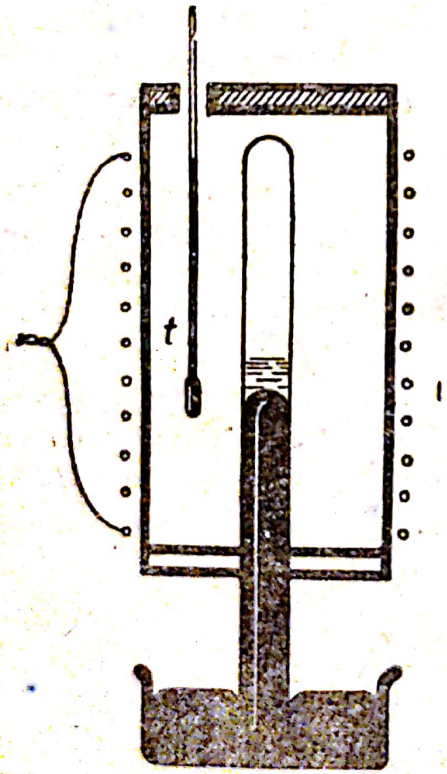

Fig. 142. — Influența temperaturii asupra presiunii vaporilor saturanți.

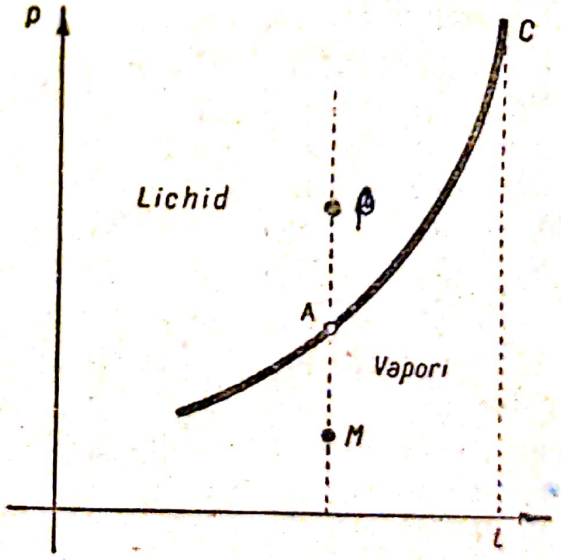

Fig. 143. — Graficul variației presiunii vaporilor saturanți cu temperatura.

în partea lui superioară, în care se găsesc vapori saturanți de eter. Se observă imediat o denivelare a mercurului și, în același timp, micșorarea volumului de eter lichid.

Ajungem la următoarea concluzie:

Presiunea vaporilor saturanți crește cu temperatura. Măsurători exacte dau următoarele valori ale lui F pentru eter:

F la 20°C	440 torr
F la 25°C	510 torr
F la 30°C	648 torr

Începînd cu fizicianul Papin (1707), numeroși cercetători au căutat să determine cu mare precizie cum variază presiunea vaporilor saturanți cu temperatura. Rezultatele sînt reprezentate în grafic (fig. 143). Curba obținută crește rapid cu creșterea temperaturii, ceea ce dovedește o creștere puternică a presiunii vaporilor saturanți în raport cu temperatura lichidului; prin urmare, vaporii saturanți nu se supun legii lui Charles.

Presiunea gazelor se datorează ciocnirii moleculelor de pereții recipientului în care sînt închise. Mărind temperatura, crește agitația termică și, numărul ciocnirilor în unitatea de timp fiind mai mare, va crește în aceeași măsură și presiunea gazului. În cazul vaporilor saturanți, ridicarea temperaturii nu mărește numai agitația termică, ci, în același timp, produce și o sporire a numărului de molecule care se vaporizează. Există deci doi factori care duc la mărirea presiunii și, prin urmare, presiunea vaporilor saturanți va crește mult mai mult decît cere legea lui Charles. Privind această curbă, vom vedea că ea se oprește brusc într-un punct C. Deasupra acestui punct, starea lichidă a corpului nu mai poate exista. Acest punct se numește **punct critic** și temperatura corespunzătoare lui se numește **temperatura critică a corpului.** Dacă un corp lichid este încălzit peste temperatura lui critică, el nu mai poate rămîne lichid, ci se transformă complet în vapori.

La o temperatură inferioară temperaturii critice, pot coexista cele două faze: de lichid și vapori. De exemplu, pentru punctul M, așezat sub această curbă, presiunea vaporilor este mai mică decît presiunea vaporilor saturanți (punctul A) și deci nu poate exista decît faza gazoasă. Pentru punctul P, așezat deasupra curbei, presiunea va fi mai mare decît presiunea vaporilor saturanți și deci la această presiune nu poate exista decît faza lichidă, deoarece vaporii nu pot avea o presiune mai mare decît cea pe care o au cînd sînt saturanți. În punctul A, ca și în orice punct de pe curbă, pot exista în același timp cele două faze — ele sînt deci în echilibru.

Scanned with OKEN Scanner

Este important să cunoaștem valoarea presiunii vaporilor saturanți ai apei, deoarece ea este întrebuințată la toate mașinile termice.

La	0°C	presiune F	4,6 torr
	100°C	presiune F	760 torr
	120°C	presiune F	1489 torr

126. **Vaporizarea unui lichid într-un spațiu nelimitat.** Eterul, alcoolul, apa, așezate în cîte o farfurie și lăsate în aer liber la temperatura mediului înconjurător, dispar încetul cu încetul; eterul dispare mai repede decît alcoolul și acesta mai repede decît apa. Punînd în vase diferite, cu suprafețe mai mici sau mai mari, aceeași cantitate de eter, putem constata că vaporizarea se produce cu atît mai repede, cu cît suprafața lichidului este mai mare și temperatura mai ridicată. Acest fel de vaporizare, care are loc numai la suprafața liberă a lichidului, se numește **evaporare**. Cu cît presiunea atmosferică este mai mică, evaporarea se face mai repede; în vid, așa cum am văzut, vaporizarea este instantanee. Din aceste observații putem formula *legile evaporării*.

Viteza de evaporare sau cantitatea de lichid evaporată în unitatea de timp este:

1) **proporțională cu suprafața lichidului;**

2) **proporțională cu diferența** $F-f$ (F fiind presiunea vaporilor saturanți și f presiunea vaporilor nesaturanți din atmosferă ai lichidului la aceeași temperatură);

3) **invers proporțională cu presiunea atmosferică** H. Aceste legi se pot exprima prin următoarea relație matematică:

$$\boxed{v = AS\frac{F-f}{H},} \qquad (54)$$

unde A este un coeficient care depinde de natura lichidului.

Această relație explică de ce evaporarea în aer:

a) se face mai repede cu cît lichidul este mai volatil, adică cu cît presiunea vaporilor saturanți F este mai mare la temperatura obișnuită. Astfel, saturarea straturilor de aer vecine este mai anevoioasă;

b) se face mai repede la o temperatură mai ridicată, căreia îi corespunde o presiune de saturație a vaporilor mai mare;

c) se face mai repede la o agitație mai mare a atmosferei, care împrospătează straturile de aer de deasupra lichidului și se opune astfel saturării lor.

Scanned with OKEN Scanner

Aplicații. Pentru a usca repede o substanță, în laborator sau industrie, se întrebuințează exicatoarele obișnuite sau cele de vid (fig. 144). Un exicator este format dintr-un vas de sticlă închis perfect cu un capac și pe fundul lui se pune H_2SO_4, P_2O_5 sau orice substanță care absoarbe apa. Rolul substanțelor avide de apă este de a micșora presiunea vaporilor nesaturanți în timp ce presiunea atmosferică poate fi micșorată punînd exicatorul în legătură cu o pompă de vid.

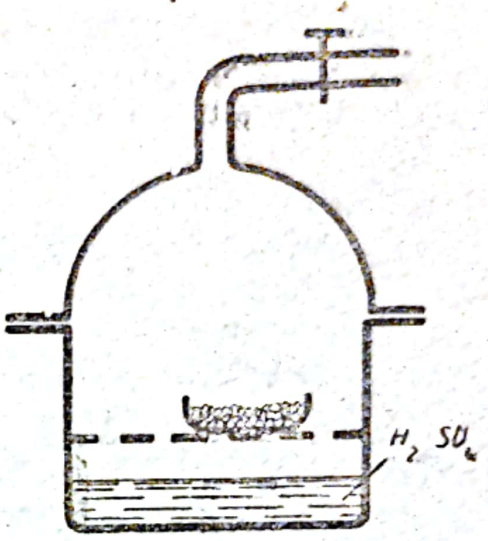

Fig. 144. — Exicator.

Lichidele volatile trebuie păstrate în flacoane cu dopuri rodate.

127. **Evaporarea produce scăderea temperaturii.** Evaporarea unui lichid la temperatura camerei se face absorbind căldura chiar de la lichid, care se răcește. Moleculele care au viteze mai mari reușesc să iasă afară din lichid scăpînd din sfera de atracție moleculară. Viteza medie a moleculelor rămase va fi mai mică și, ca urmare, corpul va avea o temperatură mai scăzută.

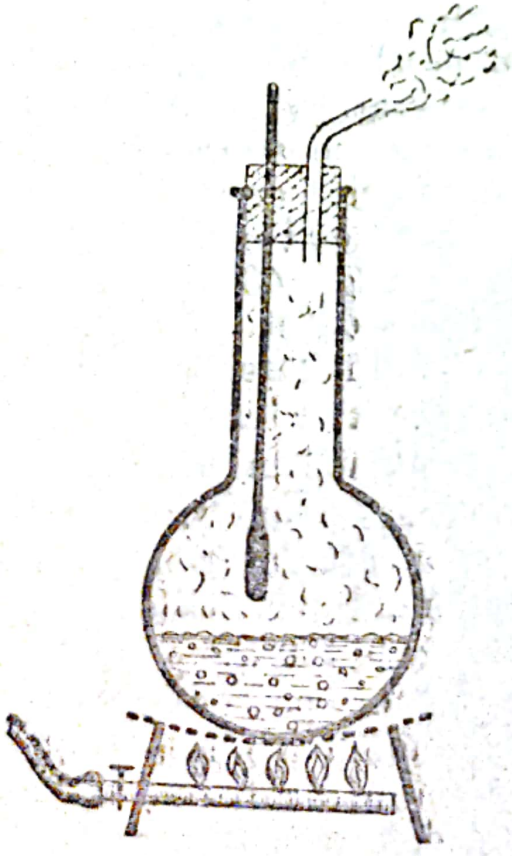
Fig. 145. — Fierberea.

Acest fenomen explică de ce oamenii pot suporta călduri mari, dar uscate, în timp ce nu pot suporta umezeala, chiar dacă temperatura este mai mică. Singurul mijloc de care dispune organismul nostru pentru a lupta contra căldurii este evaporarea apei la suprafața corpului sau a căilor respiratorii.

Prin evaporarea lichidelor mai volatile decît apa se pot obține temperaturi scăzute. De aceea, în medicină, anestezia locală se face prin evaporarea clorurii de etil.

128. **Fierberea. Experiență.** Încălzim un lichid, de exemplu apă, la presiunea atmosferică (fig. 145), înlesnind și accelerînd

astfel evaporarea. La o anumită temperatură, vedem apărînd în lichid băşici ale gazelor dizolvate (oxigen, azot, bioxid de carbon), care se ridică prin lichid şi se sparg la suprafaţa lui. Apoi, de pe fundul vasului, se desprind bule mari, gazoase, care dispar în lichid înainte de a ajunge la suprafaţă, din cauza condensării lor în straturi superioare mai puţin calde. Această condensare produce un zgomot aparte şi spunem „apa cîntă". La un moment dat, acest zgomot încetează, bulele gazoase nu se mai condensează şi se degajă la suprafaţă. Vaporizarea nu se mai produce atunci numai la suprafaţa liberă (evaporarea), ci în toată masa lichidului. Prin urmare, vaporizarea se poate face pe două căi: prin evaporare numai la suprafaţă şi prin fierbere în toată masa lichidului.

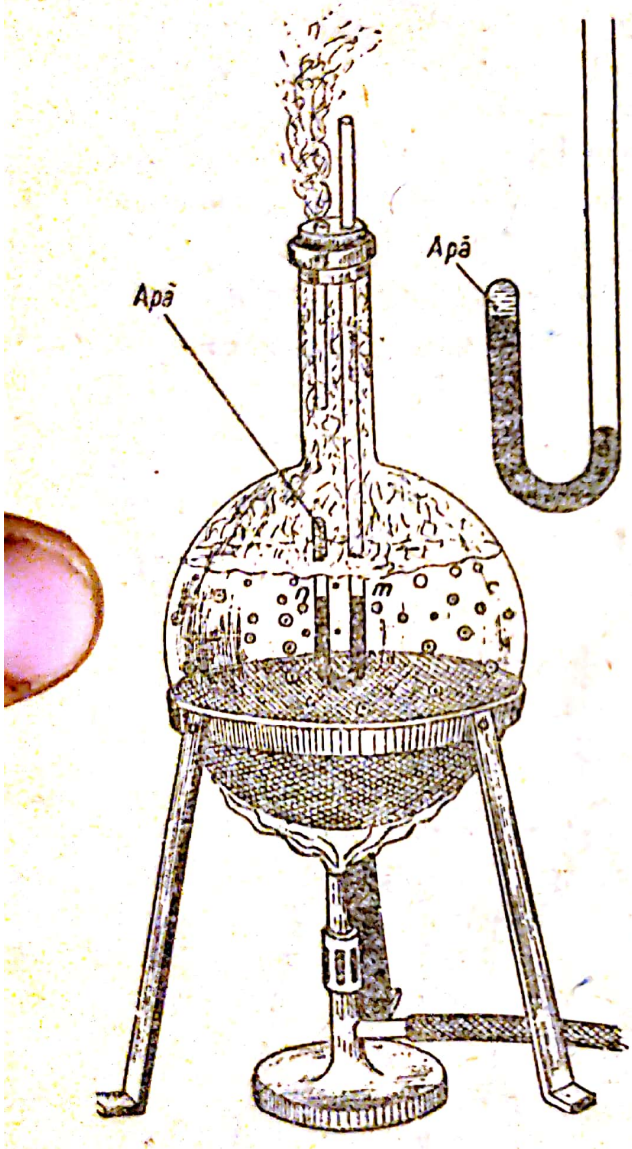

Fig. 146. — Experienţa doveditoare că presiunea vaporilor saturanţi este egală cu presiunea atmosferică.

Citim temperatura la termometrul aşezat astfel încît rezervorul lui să se găsească în vapori: el arată temperatura de 100°C, care rămîne constantă în tot timpul fierberii.

Experienţă. Într-un balon (fig. 146) introducem un tub de sticlă în formă de J, în care coloana de mercur a închis cîteva picături de apă în partea superioară a ramurii scurte. Punem apa în balon şi o încălzim. Puţin înainte de a ajunge la 100°C, apa închisă în tub începe să se evapore, împingînd mercurul; cînd apa începe să fiarbă, nivelul mercurului devine acelaşi în ambele ramuri ale tubului. În *m*, adică în ramura deschisă a tubului, presiunea care se exercită asupra mercurului

Scanned with OKEN Scanner

este presiunea atmosferică. În n se exercită F, presiunea vaporilor saturanți la temperatura de fierbere. Prin urmare, se verifică direct că atunci cînd lichidul fierbe:

$$H = F.$$

Din concluziile la care am ajuns, putem formula legile fierberii, care se enunță astfel:

1. **Sub presiune constantă, fierberea unui lichid pur începe totdeauna la aceeași temperatură, caracteristică fiecărui corp, temperatură care rămîne constantă în tot timpul fierberii.**

2. **Temperatura de fierbere a unui lichid este temperatura la care presiunea vaporilor saturanți este egală cu presiunea care se exercită asupra lichidului.**

129. **Influența presiunii asupra temperaturii de fierbere.** Dacă micșorăm presiunea, temperatura de fierbere scade: sub clopotul mașinii pneumatice, apa poate fierbe la temperatura camerei, dacă se micșorează presiunea pînă la 3 cm coloană de mercur.

Experiența lui Franklin este un exemplu de fierbere sub presiune redusă. Fierbem apa într-un balon cu gît, mai mult timp, ca să îndepărtăm aproape tot aerul din balon (fig. 147). Astupăm balonul și lăsăm ca apa să se răcească pînă la 60—70°C; în acest moment, turnăm pe partea exterioară a pereților balonului puțină apă rece. Apa din balon începe să fiarbă. Explicația este următoarea: suprafața balonului pe care am turnat apă se răcește mai repede decît apa din balon. Vaporii se condensează, presiunea scade și fierberea începe din nou la temperatură mai scăzută (60—70°C).

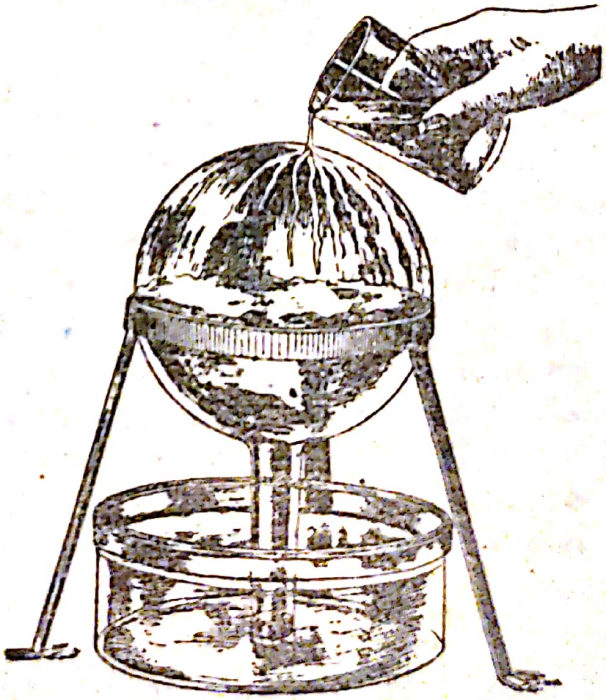

Fig. 147.— Experiența lui Franklin.

Scanned with OKEN Scanner

Să examinăm cîteva urmări ale variației temperaturii de fierbere cu presiunea:

1. Un lichid care se descompune prin încălzire, înainte de a ajunge la temperatura de fierbere, poate fi făcut să fiarbă sub presiune redusă și, prin urmare, la o temperatură mai scăzută.

2. Aparatele numite hipsometre ne permit să calculăm altitudinea după temperatura de fierbere a apei. Astfel, pe vîrful muntelui Mont Blanc, apa fierbe la 85°C.

3. Într-un vas închis, un lichid nu poate fierbe, pentru că presiunea care se exercită asupra lui este mai mare decît presiunea vaporilor saturanți. Ea este egală cu suma presiunilor vaporilor saturanți și a aerului care se găsea în vas. Din acest motiv, putem ridica temperatura lichidului mult peste temperatura normală de fierbere, pînă la limita de rezistență a pereților vasului, după care acesta face explozie; acesta este principiul oalei lui Papin, prima formă a autoclavei.

Mecanismul fierberii poate fi explicat în felul următor:

În interiorul minusculelor bule de aer care se găsesc pe fundul vasului, lichidul se vaporizează. Bulele cresc repede, din cauza vaporilor care se formează în interiorul lor și se ridică în lichid. Cînd ajung în straturile superioare mai reci ale lichidului, vaporii din interiorul lor se condensează din nou, încălzind aceste straturi, iar bulele se micșorează pînă cînd dispar. Cu timpul, și straturile superioare ale lichidului se încălzesc în modul acesta într-atît, încît bulele cu vapori nu mai dispar și vaporii formați în ele pot ieși prin suprafața liberă a lichidului. Pentru ca vaporii din bule să poată ieși din lichid o dată cu bulele, *trebuie ca presiunea lor să fie cel puțin egală cu presiunea care se exercită asupra bulelor din lichid, adică cu presiunea care se exercită pe suprafața liberă a lichidului (presiunea atmosferică)*. Numai în acest caz, bulele cu vapori pot ieși prin suprafața liberă a lichidului, în timp ce lichidul fierbe.

Vaporizarea în cazul fierberii are loc în toată masa lichidului unde există asemenea bule.

130. **Autoclava.** Autoclava (fig. 148) este un recipient metalic, rezistent, perfect închis, prevăzut cu un manometru M și o supapă de siguranță S, reglabilă, ca să poată limita presiunea vaporilor din interior. Încălzim apa din autoclavă. Presiunea totală $P = H + F$, H fiind presiunea

aerului și F presiunea vaporilor de apă. Nu vom putea avea deci $P = F$; presiunea P fiind mai mare cu H decît F, apa nu poate fierbe. Dacă supapa este reglată pentru o presiune P', cînd temperatura este suficientă ca să atingă această presiune, supapa se deschide și iese afară un amestec de aer și vapori; presiunea rămîne constantă și egală cu P', nemaiputînd crește peste această valoare din cauza supapei și astfel vom reuși să obținem fierberea apei la această presiune. Dacă, de exemplu, $P' = 2$ kgf/cm², putem atinge temperatura de 121°C. Autoclavele sînt întrebuințate la sterilizarea laptelui, conservelor, instrumentelor medicale etc.

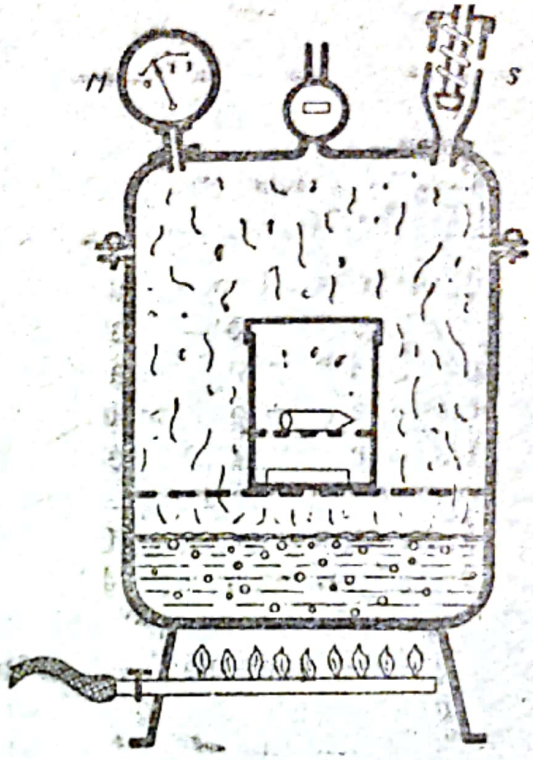

Fig. 148. — Autoclavă.

131. **Căldura latentă de vaporizare.** Vaporizarea este trecerea dintr-o fază (de lichid), în care moleculele au o energie cinetică mai mică, într-o fază (de vapori), în care energia cinetică a moleculelor este mai mare. În cursul acestei transformări are loc o micșorare a energiei cinetice a moleculelor lichidului, deoarece lichidul pierde tocmai moleculele cu energiile cinetice cele mai mari. Transformarea se va face deci cu absorbție de căldură de la lichid și acesta se răcește. Pentru ca să nu se răcească, trebuie să i se dea atîta căldură cîtă pierde prin vaporizare. Am văzut că, în timpul fierberii unui lichid, temperatura rămîne constantă, deoarece presiunea vaporilor nu poate fi mai mare decît presiunea exercitată asupra lichidului (presiunea atmosferică).

Se numește căldură latentă specifică de vaporizare cantitatea de căldură necesară unui gram de lichid la temperatura de fierbere pentru a trece în stare de vapori la aceeași temperatură și sub aceeași presiune constantă.

Căldura latentă specifică de vaporizare depinde de natura corpurilor și de temperatură.

Cantitatea de căldură Q necesară pentru vaporizarea unei substanțe este dată de relația $Q = ml$, unde l este căldura latentă specifică de vaporizare, iar m masa de lichid vaporizată.

Substanțe	Căldura de vaporizare cal/g (la punct normal de fierbere)	Temperaturile normale de fierbere în °C
Apă	539 cal/g	100°
Amoniac	327 „	— 33°
Anhidridă sulfuroasă	96 „	— 9°
Eter (etilic)	90 „	35°

Din acest tabel se vede cum căldura latentă specifică de vaporizare este mai mare decît căldura latentă specifică de topire și apa are cea mai mare căldură latentă specifică de vaporizare.

Căldura latentă specifică de vaporizare scade atunci cînd temperatura crește și devine nulă la temperatura critică.

132. **Condensarea.** Condensarea, ca și evaporarea, este un fenomen care are loc la suprafață. Condensarea este fenomenul invers vaporizării; prin urmare, se numește condensare trecerea vaporilor în stare lichidă. Deoarece evaporarea se face cu absorbție de căldură, condensarea va avea loc cu degajare de căldură. Toată energia cheltuită pentru a face lucrul mecanic necesar ieșirii moleculelor la suprafața lichidului va fi restituită în timpul condensării, adică atunci cînd moleculele trec din starea gazoasă în stare lichidă. Se înțelege că răcirea va înlesni condensarea. Răcirea nu este singurul factor care înlesnește condensarea. Experiența arată că prezența diferitelor impurități, ca fire de praf, urme de cristale diferite, ușurează condensarea. Impuritățile servesc ca nuclee (centre) de condensare și vaporii se condensează pe suprafața lor.

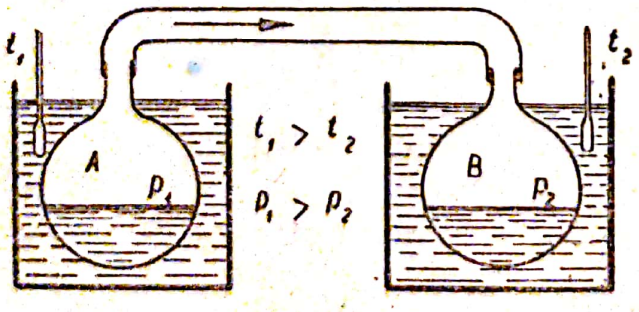

Fig. 149.—Condensarea sub influența unei temperaturi neuniforme.

133. **Condensarea poate fi produsă și prin influența unei temperaturi neuniforme.** Să considerăm că același lichid se găsește în cele două vase A și B (fig. 149). Vasul A se găsește la temperatura t_1 și vasul B

Scanned with OKEN Scanner

la temperatura t_2. Dacă temperatura t_1 este mai mare decît t_2, și presiunea F a vaporilor din vasul A va fi mai mare decît presiunea vaporilor din vasul B; prin urmare, vaporii se vor îndrepta de la vasul A spre vasul B. Micșorarea cantității de vapori în vasul A va provoca o nouă vaporizare a lichidului; dimpotrivă, mărirea cantității de vapori în vasul B va provoca o condensare. Ansamblul acestor două fenomene — vaporizare și condensare — se numește *distilare*. Cînd distilarea va fi terminată, tot lichidul va fi adunat în vasul mai rece, și presiunea vaporilor saturanți va avea valoarea corespunzătoare temperaturii celei mai scăzute. Acest principiu, se numește principiul „*peretului rece*" și se enunță astfel:

Într-un vas închis în care temperatura nu este uniformă, presiunea vaporilor este egală cu presiunea vaporilor saturanți corespunzătoare temperaturii celei mai scăzute.

134. **Distilarea.** Pe principiul peretelui rece se bazează distilarea. Ea constă din vaporizarea unui lichid prin fierberea într-un balon A (fig. 150) și condensarea vaporilor formați, în alt recipient B. Astfel, dacă în B temperatura este de 20°C și în A 100°C, tot lichidul din A se va vaporiza treptat și vaporii se vor condensa în B. Deoarece vaporii la condensare cedează căldura latentă de vaporizare, se înlesnește condensarea lor, legînd balonul A cu recipientul B printr-un refrigerent în care circulă continuu un curent de apă rece de jos în sus. Uneori recipientul B este închis și legat la o pompă de vid; distilăm atunci sub presiune redusă. Distilarea în vid este folosită în cazul corpurilor care se descompun la o temperatură ridicată. Distilarea este unul din procedeele întrebuințate pentru purificarea substanțelor, ca și pentru separarea componenților unui amestec. În acest caz poartă numele de distilare fracționată și se folosește mult în industria petrolului.

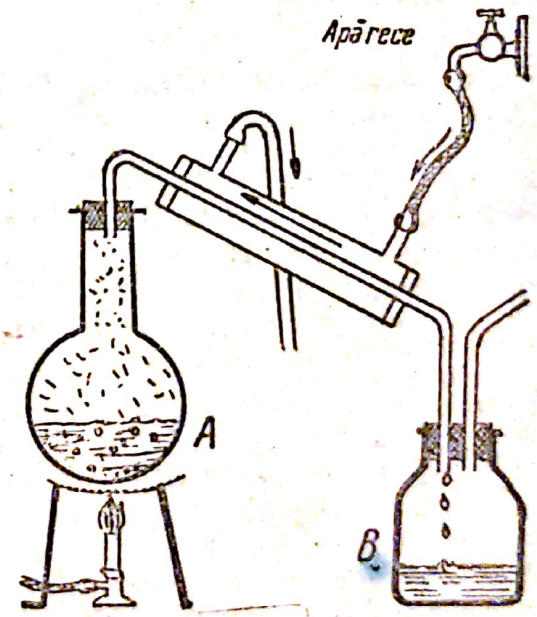

Fig. 150. — Distilarea.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 6

Determinarea căldurii latente specifice de topire sau căldurii latente specifice de vaporizare

Căldura latentă specifică de topire

Materiale necesare: 1. Un calorimetru, care la nevoie poate fi înlocuit cu două pahare Berzelius, izolate prin dopuri de plută.

2. Un termometru.

3. Un izvor de căldură, preferabil un bec Bunsen.

Modul de lucru. Introducem în calorimetrul cu apă la o temperatură inițială t°C o bucată de gheață bine uscată cu hîrtie de filtru. Gheața are temperatura de 0°C. Ea se topește, și apa care rezultă din topirea gheții se încălzește, în timp ce apa din calorimetru se răcește. Acest schimb de căldură are loc pînă la stabilirea echilibrului termic, adică pînă cînd amestecul ajunge la temperatura finală t°C.

Notăm cu m masa apei din calorimetru, m_1 masa calorimetrului și m_2 masa gheții introduse în calorimetru. Masa gheții se determină cîntărind calorimetrul cu apa înainte și după experiență. Bazîndu-ne pe metoda amestecurilor, putem scrie ecuația calorimetrică, adică egalitatea dintre căldura absorbită de gheața care se topește și căldura cedată de apă și de calorimetru. Cantitatea de căldură Q_1, cedată de calorimetru prin răcirea lui de la temperatura t_1 la temperatura t, este:

$$Q_1 = m_1 c_1 (t_1 - t).$$

Cantitatea de căldură Q, cedată de apa din calorimetru prin răcire de la temperatura t_1 la temperatura t, este:

$$Q = m(t_1 - t).$$

Cantitatea de căldură Q_2, absorbită de gheață pentru a se topi la zero grade, este:

$Q_2 = m_2 l$, în care l = căldura latentă specifică de topire.

Cantitatea de căldură absorbită de apa rezultată prin topirea gheții la 0°C pentru a-și ridica temperatura pînă la temperatura t a amestecului va fi:

$$Q'_2 = m_2(t - 0).$$

Așadar se va putea scrie pe baza ecuației calorimetrice:

$$Q_1 + Q = Q_2 + Q'_2$$

$$(m_1 c_1 + m)(t_1 - t) = m_2 l + m_2 t,$$

de unde putem scoate valoarea lui l, care trebuie să fie aproximativ egală cu 80 calorii/gram.

Se vor face mai multe determinări, variind datele experienței, iar rezultatele se vor trece într-un tabel. Rezultatul cel mai corect se obține luînd media rezultatelor.

m g	m_1 g	m_2 g	t_1 °C	t °C	Q cal	Q_1 cal	Q_2 cal	Q'_2 cal	l cal/g	media cal/g

Scanned with OKEN Scanner

Căldura latentă specifică de vaporizare

Materiale necesare: 1) Un calorimetru, care la nevoie poate fi înlocuit prin două pahare Berzelius. 2) Un termometru. 3) Un balon în care se fierbe apa.

Modul de lucru. În balonul A (fig. 151) se pune apă. Nivelul apei nu trebuie să depășească jumătatea balonului. Îl astupăm cu un dop prin care trece tubul T îndoit de două ori în unghi drept, încît să poată intra în calorimetrul C. Tubul acesta trebuie să fie cît mai scurt, pentru a se evita condensările de-a lungul lui. Turnăm m_1 grame de apă în calorimetru și îi măsurăm temperatura inițială t_0. După ce apa din balon a început să fiarbă și vaporizarea este intensă, cufundăm tubul T în calorimetru. Vaporii trec în calorimetru și după 2—3 minute oprim trecerea vaporilor. În acest timp, vaporii s-au condensat în calorimetru și apa din calorimetru și-a ridicat temperatura. Măsurăm din nou temperatura apei din calorimetru, fie t_1 această temperatură. Stingem lampa, după ce am scos tubul T din calorimetru. Aflăm masa vaporilor condensați, cîntărind din nou calorimetrul și făcînd diferența dintre cele două mase: $m = m_2 - m_1$.

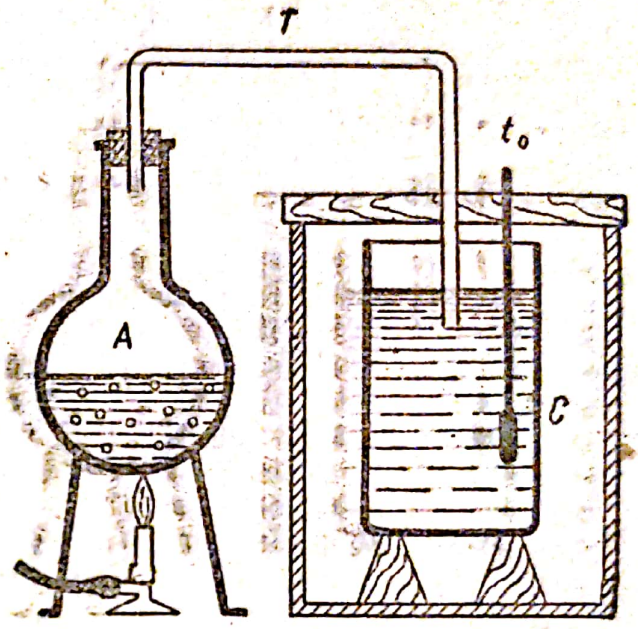

Fig. 151. — Determinarea căldurii latente de vaporizare.

Scriem egalitatea dintre căldura cedată și cea absorbită.

Căldura cedată de m grame de vapori, prin condensare, este $Q_1 = mL$, unde L este căldura latentă specifică de condensare și este aceeași ca și căldura latentă de vaporizare.

Căldura cedată de apa obținută prin condensarea vaporilor pentru a-și coborî temperatura de la 100°C la t_1°C este:

$$Q_2 = m(100 - t_1).$$

Căldura absorbită de apa din calorimetru și de calorimetru este:

$$Q_3 = (m_1 + m_2c_2)(t_1 - t_0).$$

Acum putem egala cele două cantități de căldură — căldura cedată și cea primită:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \text{ sau:}$$

$mL + m(100 - t_1) = (m_1 + m_2c_2)(t_1 - t_0)$, de unde rezultă:

$$L = \frac{(m_1 + m_2c_2)(t_1 - t_0) - m(100 - t_1)}{m}.$$

Din această experiență ar trebui să găsim $L = 539{,}1$ cal/g.

Greutatea principală a unei astfel de determinări, care duce la rezultate mai puțin precise, o constituie faptul că aparatul nefiind

perfect izolat, o parte din căldură se pierde. Din această cauză se obține de obicei un rezultat mai mic decît cel corect.

Datele experienței vor fi trecute într-un tabel și se va lua media determinărilor făcute.

m_1 g	m_2 g	m g	t_1 °C	t_0 °C	Q_1 cal	Q_2 cal	Q_3 cal	L cal/g	Media cal/g

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se numește vaporizare și care sînt mijloacele de vaporizare?
2. Care sînt deosebirile dintre vaporii nesaturanți și cei saturanți?
3. Care sînt legile fierberii?
4. Care sînt cauzele variației punctului de fierbere?
5. Ce se numește căldură latentă specifică de vaporizare?
6. Pe ce se bazează funcționarea unui exicator?
7. Cum se poate determina altitudinea fără ajutorul unui barometru?
8. Ce se numește condensare?
9. Ce se numește distilare și pe ce se bazează ea?

PROBLEME

1. Un calorimetru perfect izolat cuprinde 2 100 g de apă și 200 g de gheață, totul la temperatura de 0°C. În calorimetru sînt introduși vapori de apă la 100°C. Să se calculeze cîte grame de vapori trebuie să se condenseze pentru ca temperatura finală să fie 20°C.

Răspuns: 100 g.

2. Într-un calorimetru de alamă care cîntărește 500 g se găsește 1 kg de gheață la temperatura de —10°C. În calorimetru se toarnă, încetul cu încetul, apă caldă la temperatura de 50°C. Se cere:

a) Să se arate cîtă apă trebuie să turnăm ca să obținem în calorimetru numai gheață la 0°C.

Răspuns: 42,1 g.

b) Continuăm să turnăm apă la 50°C. Ce cantitate de apă este necesară pentru ca în calorimetru să existe numai apă la 15°C?

Răspuns: 2 881,4 g.

c) În acest moment introducem în calorimetru 600 g de platină. Temperatura apei se ridică cu 5°. Care a fost temperatura platinei?

Răspuns: 1 191,71°C.

3. Într-un calorimetru de alamă cu masa de 300 g s-au introdus 580 g de apă. Temperatura inițială a calorimetrului era de 20°C. Se introduc în calorimetru vapori de apă la 100°C, care se condensează, se răcesc și temperatura finală a amestecului este de 30°C. Care este căldura de vaporizare a apei, știind că masa apei condensate este de 10 g?

Răspuns: 537 cal/g.

Scanned with OKEN Scanner

4. Un vas conținînd 100 l de apă este încălzit cu ajutorul unei serpentine prin care circulă vapori de apă la 100°C. Ce masă de vapori trebuie să folosim ca să ridicăm temperatura apei de la 20°C la 50°C? Serpentina este de aramă și cîntărește 1 kg.

Răspuns: 5,09 kg.

5. Un amestec de apă și gheață este format din 200 g de apă și 20 g de gheață; se introduc în acest amestec 5 g de vapori de apă la 100°C. Care este temperatura de echilibru?

Răspuns: 7°C.

6. Controlați datele de mai jos, pregătite pentru o lucrare de laborator în care trebuie să se măsoare căldura latentă de vaporizare a apei. Descrieți experiența care trebuie executată. Completați locurile goale și folosiți datele pentru calcularea căldurii latente specifice de vaporizare.

Masa calorimetrului gol	50 g
Masa calorimetrului cu apă	150 g
Masa apei	?
Temperatura inițială a apei	25°C
Temperatura finală	45°C
Variația temperaturii	?
Masa apei, a calorimetrului și a vaporilor condensați	154 g
Căldura latentă de vaporizare	?

7. Ce cantitate de vapori de apă la 100° C trebuie să se condenseze în caloriferul unei camere cu lungimea de 6 m, lățimea de 5 m și înălțimea de 4 m pentru a o încălzi de la 10—20°C și a menține această temperatură timp de 24 de ore, știind că pierderile de căldură sînt de 10 cal/minut? Presiunea aerului este și rămîne constantă de 760 torr.

Ce cantitate de cărbuni trebuie arsă știind că randamentul focarului este de 60%?

Răspuns: 624 g; 91 g.

135. **Lichefierea gazelor.** Condensarea este fenomenul invers vaporizării. Vaporii saturanți se transformă în lichid, cînd micșorăm temperatura sau volumul ocupat de ei. Din moment ce vaporii saturanți pot trece în faza lichidă, este normal să ne întrebăm dacă nu pot fi transformate în lichid și gazele. *Transformarea gazelor în lichid se numește lichefiere.* Acest fenomen a preocupat pe fizicienii din prima jumătate a secolului al XIX-lea. Transformarea unui gaz în lichid înseamnă, din punct de vedere teoretic, mărirea coeziunii moleculare, care se poate realiza prin micșorarea spațiilor intermoleculare. Micșorarea spațiilor intermoleculare înseamnă micșorarea volumului, iar acest lucru, conform legii Boyle și Mariotte, se obține prin mărirea presiunii.

Experiențe numeroase au dovedit că pentru orice gaz există o temperatură, *deasupra căreia un gaz nu poate fi*

Scanned with OKEN Scanner

lichefiat oricît de mare ar fi presiunea exercitată asupra lui. Această temperatură se numește **temperatură critică.** Despre această temperatură s-a mai vorbit la studiul presiunii vaporilor saturanți în funcție de temperatură (§ 125). La această temperatură nu mai există deosebiri între cele două stări de agregare — lichidă și gazoasă — prin urmare, atît căldura latentă de vaporizare, cît și tensiunea superficială sînt nule.

Substanțe	Temperatura critică	Presiunea critică în atm
Heliu	—268°C	2,26
Hidrogen	—240°C	10
Argon	—122°C	48
Oxigen	—109°C	38
Bioxid de carbon	31°C	55
Bioxid de sulf	157°C	77,7
Apă	374°C	156

Presiunea corespunzătoare temperaturii critice se numește **presiune critică.**

Pentru a lichefia un gaz, trebuie răcit mai întîi la o temperatură mai scăzută decît temperatura lui critică, și apoi să fie supus la o presiune mai mare decît presiunea vaporilor lui saturanți.

Faraday, în 1832, a fost primul care a încercat să lichefieze gaze, fie prin comprimare, fie prin comprimare și răcire în același timp. El a folosit un tub de sticlă îndoit (fig. 152). Într-o ramură se găseau cristale de hidrat de clor și ramura era cufundată în apă caldă, în timp ce ramura cealaltă era cufundată într-un vas în care se găsea gheață. Presiunea exercitată de clorul gazos lichefiază clorul în ramura cu temperatura mai scăzută.

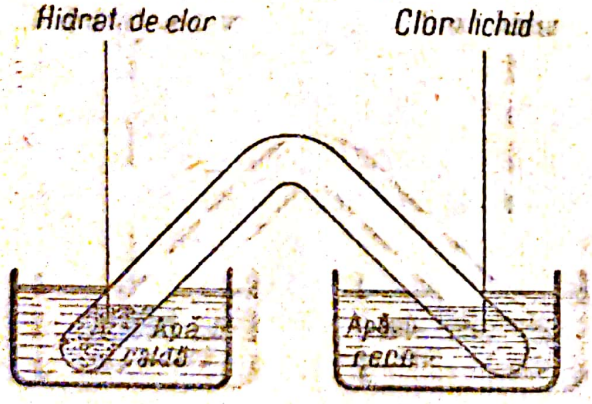

Fig. 152. — Experiența lui Faraday pentru lichefierea gazelor.

Faraday a lichefiat astfel clorul, amoniacul, protoxidul de azot. Metodele folosite erau:

1. *Răcirea.* Gazele care au temperatura critică ridicată pot fi lichefiate la presiunea atmosferică prin simplă răcire. Este cazul SO_2, care se lichefiază la —10°C.

Scanned with OKEN Scanner

lichefiat oricît de mare ar fi presiunea exercitată asupra lui. Această temperatură se numește **temperatură critică.** Despre această temperatură s-a mai vorbit la studiul presiunii vaporilor saturanți în funcție de temperatură (§ 125). La această temperatură nu mai există deosebiri între cele două stări de agregare — lichidă și gazoasă — prin urmare, atît căldura latentă de vaporizare, cît și tensiunea superficială sînt nule.

Substanța	Temperatura critică	Presiunea critică în atm
Heliu	—268°C	2,26
Hidrogen	—240°C	10
Argon	—122°C	48
Oxigen	—109°C	38
Bioxid de carbon	31°C	55
Bioxid de sulf	157°C	77,7
Apă	374°C	156

Presiunea corespunzătoare temperaturii critice se numește **presiune critică.**

Pentru a lichefia un gaz, trebuie răcit mai întîi la o temperatură mai scăzută decît temperatura lui critică, și apoi să fie supus la o presiune mai mare decît presiunea vaporilor lui saturanți.

Faraday, în 1832, a fost primul care a încercat să lichefieze gaze, fie prin comprimare, fie prin comprimare și răcire în același timp. El a folosit un tub de sticlă îndoit (fig. 152). Într-o ramură se găseau cristale de hidrat de clor și ramura era cufundată în apă caldă, în timp ce ramura cealaltă era cufundată într-un vas în care se găsea gheață. Presiunea exercitată de clorul gazos lichefiază clorul în ramura cu temperatura mai scăzută.

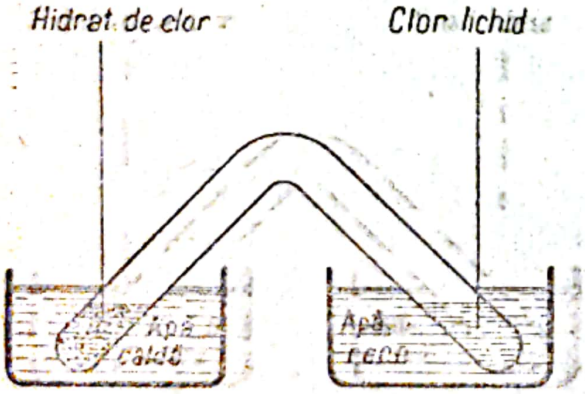

Fig. 152. — Experiența lui Faraday pentru lichefierea gazelor.

Faraday a lichefiat astfel clorul, amoniacul, protoxidul de azot. Metodele folosite erau:

1. *Răcirea.* Gazele care au temperatura critică ridicată pot fi lichefiate la presiunea atmosferică prin simplă răcire. Este cazul SO_2, care se lichefiază la —10°C.

Scanned with OKEN Scanner

2. *Comprimarea.* Gazele al căror punct critic este puțin mai ridicat decît temperatura obișnuită pot fi lichefiate prin comprimare. Este cazul CO_2, NH_3, CH_3Cl, Cl_2, etc.

3. *Comprimare și răcire.* Gazele care au temperatura critică sub temperatura obișnuită pot fi lichefiate prin comprimare și răcire, simultane.

Prin aceste metode, Faraday reușește să lichefieze aproape toate gazele cunoscute atunci, cu excepția hidrogenului, oxigenului, bioxidului de azot, oxidului de carbon și a metanului, care au fost numite gaze permanente. Cu toate presiunile mari folosite, pînă la 3.000 at, și a temperaturilor scăzute, nici unul dintre aceste gaze n-a putut fi obținut în stare lichidă pînă în anul 1870. Cercetînd tabelul temperaturilor critice, ne putem da seama de ce n-au putut fi lichefiate aceste gaze. Temperaturile lor critice erau mai mici decît cele mai scăzute temperaturi cunoscute în acel timp.

4. *Detenta.* Prin comprimare bruscă, un gaz își ridică temperatura, iar prin destindere bruscă, și-o coboară. Dacă destindem în mod brusc gazul, adică dacă îl obligăm să treacă de la volum mic și presiune mare la volum mare și presiune mică, temperatura lui scade simțitor. Astfel, printr-o succesiune de comprimări, răciri și detente bruște, putem coborî atît de mult temperatura, încît gazul se lichefiază.

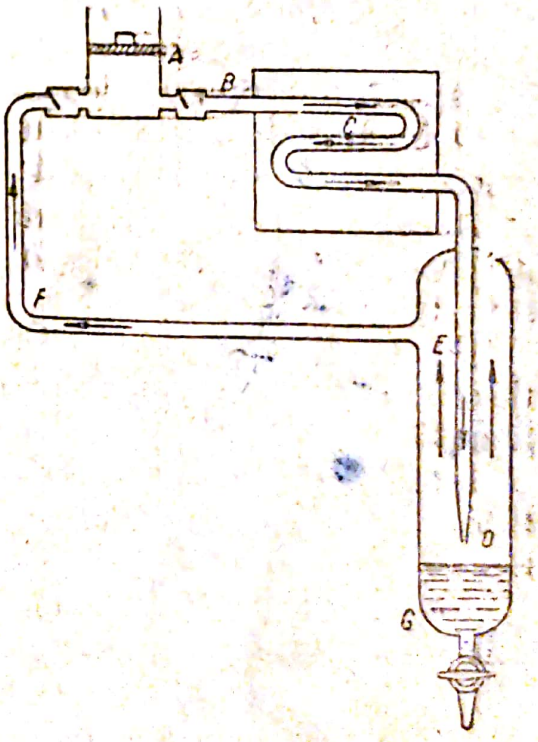

Fig. 153. — Mașina Linde.

Pe acest principiu se bazează mașina Linde, întrebuințată la lichefierea aerului. Pompa *A* (fig. 153) menține o circulație continuă a aerului, așa cum arată săgețile. În *B*, aerul părăsește pompa cu o presiune mare și o temperatură ridicată. El intră în serpentina *C*, unde este răcit cu aer sau apă, și, la presiunea mare pe care o are, iese afară prin orificiul îngust *D*, suferind o destindere. În cursul destinderii, presiunea lui se micșorează ca și temperatura. Fiind izolat de mediul exterior, gazul supus detentei ia energia necesară măririi volumului și micșorării presiunii chiar de la molecu-

2. *Comprimarea.* Gazele al căror punct critic este puțin mai ridicat decît temperatura obișnuită pot fi lichefiate prin comprimare. Este cazul CO_2, NH_3, CH_3Cl, Cl_2, etc.

3. *Comprimare și răcire.* Gazele care au temperatura critică sub temperatura obișnuită pot fi lichefiate prin comprimare și răcire, simultane.

Prin aceste metode, Faraday reușește să lichefieze aproape toate gazele cunoscute atunci, cu excepția hidrogenului, oxigenului, bioxidului de azot, oxidului de carbon și a metanului, care au fost numite gaze permanente. Cu toate presiunile mari folosite, pînă la 3 000 at, și a temperaturilor scăzute, nici unul dintre aceste gaze n-a putut fi obținut în stare lichidă pînă în anul 1870. Cercetînd tabelul temperaturilor critice, ne putem da seama de ce n-au putut fi lichefiate aceste gaze. Temperaturile lor critice erau mai mici decît cele mai scăzute temperaturi cunoscute în acel timp.

4. *Detenta.* Prin comprimare bruscă, un gaz își ridică temperatura, iar prin destindere bruscă, și-o coboară. Dacă destindem în mod brusc gazul, adică dacă îl obligăm să treacă de la volum mic și presiune mare la volum mare și presiune mică, temperatura lui scade simțitor. Astfel, printr-o succesiune de comprimări, răciri și detente bruște, putem coborî atît de mult temperatura, încît gazul se lichefiază.

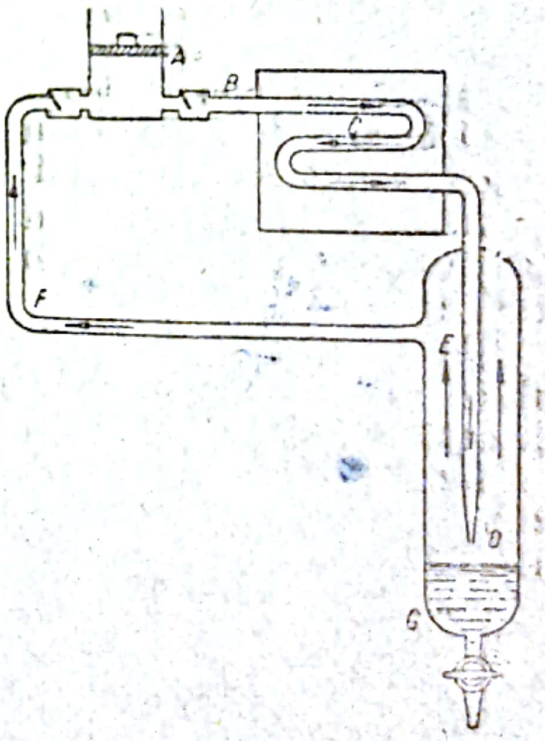

Fig. 153. — Mașina Linde.

Pe acest principiu se bazează mașina Linde, întrebuințată la lichefierea aerului. Pompa *A* (fig. 153) menține o circulație continuă a aerului, așa cum arată săgețile. În *B*, aerul părăsește pompa cu o presiune mare și o temperatură ridicată. El intră în serpentina *C*, unde este răcit cu aer sau apă, și, la presiunea mare pe care o are, iese afară prin orificiul îngust *D*, suferind o destindere. În cursul destinderii, presiunea lui se micșorează ca și temperatura. Fiind izolat de mediul exterior, gazul supus detentei ia energia necesară măririi volumului și micșorării presiunii chiar de la molecu-

lele sale, care își micșorează viteza medie și astfel gazul se răcește. Gazul răcit și cu presiune mică, care trece prin *E* și *F*, este absorbit de pompă și ciclul se repetă din nou. De data aceasta, aerul răcit din *E* înconjură tubul prin care vine aerul comprimat din pompă, îl răcește și astfel aerul care iese și se destinde prin deschiderea *D* va avea o temperatură și mai scăzută. Ciclul se repetă pînă cînd temperatura scade atît de mult, încît aerul care iese prin orificiul *D* se lichefiază. Lichidul se adună în *G*, de unde poate fi scos.

O greutate ivită la funcționarea mașinii Linde a fost în alegerea uleiurilor sau a unsorilor necesare pentru ungerea pistoanelor. O unsoare bună trebuie să-și mențină viscozitatea, deși suferă variații mari de temperatură. Această calitate este foarte greu de găsit la unsori, deoarece majoritatea lor îngheață la temperatura aerului lichid. Problema a fost rezolvată folosind pentru ungerea pieselor chiar aerul lichid.

Aerul lichid este albăstrui. La temperatura aerului lichid, majoritatea corpurilor își modifică proprietățile fizice.

Dacă suflăm aerul din plămîni printr-un tub de cauciuc cufundat într-un vas cu aer lichid, bioxidul de carbon și vaporii de apă se solidifică imediat.

O bucată de carne cufundată în aer lichid devine fragilă și rigidă, ca sticla, și se sparge cu ușurință.

Aerul lichid este un amestec de oxigen și azot lichid. La presiunea atmosferică, oxigenul lichid fierbe la —183°C, iar azotul la —195,8°C.

Pe aceste diferențe dintre temperaturile de fierbere ale oxigenului și ale azotului lichid se bazează distilarea fracționată a aerului lichid pentru a obține oxigen lichid.

Deoarece azotul are temperatura de fierbere mai scăzută, el trece primul în stare de vapori, și astfel lichidul se va îmbogăți în oxigen lichid, care este mai puțin volatil.

136. **Întrebuințarea gazelor lichefiate.** 1. Unele gaze lichefiate servesc drept combustibil; de exemplu aragazul etc.

2. Gazele lichefiate sînt întrebuințate pentru producerea temperaturilor scăzute, prin evaporarea lor, și astfel la studierea proprietăților corpurilor la temperaturi scăzute.

3. Cantități mari de oxigen sînt necesare astăzi în chimie, medicină, tehnică, aviație; acestea se obțin cu ușurință prin distilarea fracționată a aerului lichid.

Scanned with OKEN Scanner

Fizicianul sovietic Petre Kapitza este autorul unei lucrări fundamentale în problema lichefierii aerului cu scopul de a obține oxigen lichid. Rezultatele cercetărilor lui au deschis drumuri noi în multe sectoare ale tehnicii. Cel puțin 80% din metodele tehnologice se bazează pe folosirea oxigenului și, de aceea, orice intensificare a alimentării cu oxigen sporește randamentul acelor procedee. În uzinele chimice, în metalurgie, în uzinele termice, la gazeificarea cărbunelui, oxigenul curat sau aerul îmbogățit cu oxigen mărește mult randamentul, micșorînd astfel prețul de cost.

137. **Păstrarea și transportul gazelor lichefiate.** Gazele cu temperatură critică ridicată se păstrează și se transportă în butelii de metal cu pereții rezistenți (butelii de aragaz), închise cu robinete. Dar altele, ca aerul, oxigenul, heliul lichid, a căror temperatură critică este mult mai mică decît temperatura obișnuită și care prin vaporizare ar exercita o presiune prea mare asupra pereților vasului, astfel încît acesta ar face explozie, se păstrează în vase deschise cu pereții dubli, numite vase Dewar (fig. 154). În comerț, un astfel de vas se numește termos. Cei doi pereți sînt argintați pentru a reflecta căldura. Între cei doi pereți se face vid, pentru a se evita propagarea căldurii prin conductibilitate.

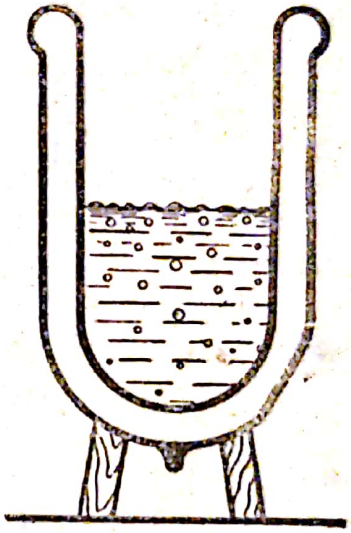

Fig. 154. — Vas Dewar.

138. **Mașina frigoriferă.** Gazele lichefiate sînt mult întrebuințate la fabricarea gheții artificiale și la conservarea alimentelor. Se construiesc trenuri și vapoare frigorifere pentru transportul alimentelor conservate prin frig la distanțe mari.

Nu orice fluid poate fi întrebuințat la o mașină frigoriferă. El trebuie să satisfacă anumite condiții absolut necesare și, în primul rînd, să treacă cu ușurință din faza gazoasă în faza lichidă, și invers. De asemenea trebuie să aibă o căldură de vaporizare mare, adică prin evaporare să absoarbă o cantitate mare de căldură și, prin urmare, să producă o scădere simțitoare a temperaturii mediului înconjurător.

Substanțele cele mai întrebuințate în acest scop sînt amoniacul gazos, anhidrida sulfuroasă, anhidrida carbonică, clorura de etil; astăzi se folosește din ce în ce mai mult freonul (diclordiflormetan).

Scanned with OKEN Scanner

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se numește lichefiere?
2. Ce se numește punct critic și prin ce este el caracterizat?
3. Ce se numește temperatură critică?
4. Care sînt condițiile necesare lichefierii unui gaz?
5. Ce se numește detentă (destindere)?

139. **Umiditatea.** Aerul atmosferic este un amestec de gaze, dintre care aproximativ 78% azot, 20% oxigen și o cantitate mică de aproximativ 2% este alcătuită din bioxid de carbon, vapori de apă și alte gaze. Vaporii de apă din atmosferă provin din evaporarea apei rîurilor, mărilor etc. În condiții normale de temperatură, se evaporă în 24 de ore cîte 1 l de apă pentru fiecare metru pătrat din suprafața apelor. Dacă mai adăugăm vaporii de apă eliminați prin respirația animalelor și a plantelor, ne vom da seama ce cantitate enormă de vapori de apă se găsește în permanență în atmosferă.

Cantitatea de apă care se găsește în atmosferă variază după anotimp, temperatură și poziție geografică; gradul de umiditate a aerului nu depinde de cantitatea de vapori de apă, ci de presiunea acestor vapori. Aerul dintr-o cameră poate fi pentru aceeași cantitate de vapori de apă foarte uscat sau foarte umed. Dacă temperatura camerei este de 25°C, sînt necesare 23 g de vapori pentru fiecare metru cub ca aerul să fie saturat cu vapori de apă, în timp ce la temperatura de 5°C sînt suficiente numai 7 g.

În general, aerul cuprinde mai mulți vapori de apă vara decît iarna, și totuși vara este mai uscat, deoarece temperatura fiind mai ridicată, vaporii sînt mai departe de punctul lor de saturație.

Masa vaporilor de apă dintr-un centimetru cub de aer se numește umiditate absolută.

Presiunea vaporilor de apă din atmosferă este numai de cîțiva torr. Presiunea vaporilor de apă la orice temperatură nu poate depăși presiunea vaporilor saturanți la acea temperatură. Dacă însă cantitatea de vapori de apă din atmosferă este atît de mare încît presiunea lor devine egală cu presiunea vaporilor saturanți pentru acea temperatură, atunci aerul este saturat cu vapori de apă.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se numește lichefiere?
2. Ce se numește punct critic și prin ce este el caracterizat?
3. Ce se numește temperatură critică?
4. Care sînt condițiile necesare lichefierii unui gaz?
5. Ce se numește detentă (destindere)?

139. **Umiditatea.** Aerul atmosferic este un amestec de gaze, dintre care aproximativ 78% azot, 20% oxigen și o cantitate mică de aproximativ 2% este alcătuită din bioxid de carbon, vapori de apă și alte gaze. Vaporii de apă din atmosferă provin din evaporarea apei rîurilor, mărilor etc. În condiții normale de temperatură, se evaporă în 24 de ore cîte 1 l de apă pentru fiecare metru pătrat din suprafața apelor. Dacă mai adăugăm vaporii de apă eliminați prin respirația animalelor și a plantelor, ne vom da seama ce cantitate enormă de vapori de apă se găsește în permanență în atmosferă.

Cantitatea de apă care se găsește în atmosferă variază după anotimp, temperatură și poziție geografică; gradul de umiditate a aerului nu depinde de cantitatea de vapori de apă, ci de presiunea acestor vapori. Aerul dintr-o cameră poate fi pentru aceeași cantitate de vapori de apă foarte uscat sau foarte umed. Dacă temperatura camerei este de 25°C, sînt necesare 23 g de vapori pentru fiecare metru cub ca aerul să fie saturat cu vapori de apă, în timp ce la temperatura de 5°C sînt suficiente numai 7 g.

În general, aerul cuprinde mai mulți vapori de apă vara decît iarna, și totuși vara este mai uscat, deoarece temperatura fiind mai ridicată, vaporii sînt mai departe de punctul lor de saturație.

Masa vaporilor de apă dintr-un centimetru cub de aer se numește umiditate absolută.

Presiunea vaporilor de apă din atmosferă este numai de cîțiva torr. Presiunea vaporilor de apă la orice temperatură nu poate depăși presiunea vaporilor saturanți la acea temperatură. Dacă însă cantitatea de vapori de apă din atmosferă este atît de mare încît presiunea lor devine egală cu presiunea vaporilor saturanți pentru acea temperatură, atunci aerul este saturat cu vapori de apă.

Scanned with OKEN Scanner

Raportul dintre presiunea vaporilor nesaturanți care se află la un moment dat în atmosferă, la o anumită temperatură, și presiunea vaporilor saturanți, la aceeași temperatură, se numește umiditate relativă sau stare higrometrică.

$$\text{Umiditatea relativă } \% = 100 \frac{\text{presiunea vaporilor nesaturanți}}{\text{presiunea vaporilor saturanți}}.$$

Umiditatea relativă este 100% cînd vaporii sînt saturanți și este zero cînd în aer nu există nici o urmă de vapori de apă.

Deoarece vaporii de apă din atmosferă sînt saturanți cînd presiunea lor este egală cu presiunea vaporilor saturanți pentru acea temperatură, saturația poate fi obținută fie mărind cantitatea de vapori de apă din atmosferă, fie micșorînd temperatura.

De exemplu, presiunea vaporilor de apă din atmosferă la temperatura de 20°C este de 10 torr. Saturația, adică umiditatea de 100%, poate fi obținută fie introducînd vapori de apă și menținînd temperatura constantă pînă cînd ridicăm presiunea vaporilor de apă la 17,54 torr, valoarea corespunzătoare vaporilor saturanți, fie scăzînd temperatura pînă la 11,4°C, valoare la care presiunea vaporilor saturanți este de 10 torr.

Dacă temperatura scade sub 11,4°C, presiunea vaporilor saturanți va fi mai mică decît 10 torr. În acest caz, presiunea vaporilor de apă este mai mare decît presiunea vaporilor saturanți și o parte din vaporii saturanți se vor condensa. Presiunea se va micșora pînă cînd va atinge valoarea presiunii vaporilor saturanți pentru noua temperatură. Acest fenomen ne explică formarea norilor, a ceții și a ploii. Același fenomen se petrece noaptea, cînd temperatura la suprafața pămîntului scade din cauza pierderii de căldură prin radiație.

Temperatura la care vaporii de apă din aer devin saturanți se numește punct de aburire sau punct de rouă.

140. **Higrometrul cu fir de păr.** Instrumentele care ne permit să determinăm starea higrometrică a aerului, adică gradul de umiditate, se numesc higrometre. Higrometrul cu fir de păr se bazează pe faptul că părul omenesc, și mai ales părul blond, absoarbe vaporii de apă din aer, într-o proporție care variază cu umiditatea relativă și astfel își

Raportul dintre presiunea vaporilor nesaturanți care se află la un moment dat în atmosferă, la o anumită temperatură, și presiunea vaporilor saturanți, la aceeași temperatură, se numește umiditate relativă sau stare higrometrică.

$$\text{Umiditatea relativă } \% = 100 \frac{\text{presiunea vaporilor nesaturanți}}{\text{presiunea vaporilor saturanți}}.$$

Umiditatea relativă este 100% cînd vaporii sînt saturanți și este zero cînd în aer nu există nici o urmă de vapori de apă.

Deoarece vaporii de apă din atmosferă sînt saturanți cînd presiunea lor este egală cu presiunea vaporilor saturanți pentru acea temperatură, saturația poate fi obținută fie mărind cantitatea de vapori de apă din atmosferă, fie micșorînd temperatura.

De exemplu, presiunea vaporilor de apă din atmosferă la temperatura de 20°C este de 10 torr. Saturația, adică umiditatea de 100%, poate fi obținută fie introducînd vapori de apă și menținînd temperatura constantă pînă cînd ridicăm presiunea vaporilor de apă la 17,54 torr, valoarea corespunzătoare vaporilor saturanți, fie scăzînd temperatura pînă la 11,4°C, valoare la care presiunea vaporilor saturanți este de 10 torr.

Dacă temperatura scade sub 11,4°C, presiunea vaporilor saturanți va fi mai mică decît 10 torr. În acest caz, presiunea vaporilor de apă este mai mare decît presiunea vaporilor saturanți și o parte din vaporii saturanți se vor condensa. Presiunea se va micșora pînă cînd va atinge valoarea presiunii vaporilor saturanți pentru noua temperatură. Acest fenomen ne explică formarea norilor, a ceții și a ploii. Același fenomen se petrece noaptea, cînd temperatura la suprafața pămîntului scade din cauza pierderii de căldură prin radiație.

Temperatura la care vaporii de apă din aer devin saturanți se numește punct de aburire sau punct de rouă.

140. **Higrometrul cu fir de păr.** Instrumentele care ne permit să determinăm starea higrometrică a aerului, adică gradul de umiditate, se numesc higrometre. Higrometrul cu fir de păr se bazează pe faptul că părul omenesc, și mai ales părul blond, absoarbe vaporii de apă din aer, într-o proporție care variază cu umiditatea relativă și astfel își

modifică lungimea. Acest higrometru (fig. 155) este alcătuit dintr-un cadru dreptunghiular D. Pe latura superioară se găsește un șurub S, terminat cu un cîrlig C. Acest cîrlig ține un capăt al unui fir de păr F (în prealabil spălat cu eter pentru degresare), iar celălalt capăt se înfășoară pe o rotiță mobilă R, de al cărui ax este fixat acul indicator I. Firul este ținut perfect vertical de o mică greutate G, fixată la capătul inferior al lui. Se reglează lungimea firului de păr, încît într-o atmosferă nici prea umedă, nici prea uscată, acul să fie îndreptat spre mijlocul cadranului K. Cînd atmosfera este plină cu vapori de apă, firul de păr se lungește și acul se deplasează. Pentru o atmosferă uscată, deplasarea acului se face în sens contrar.

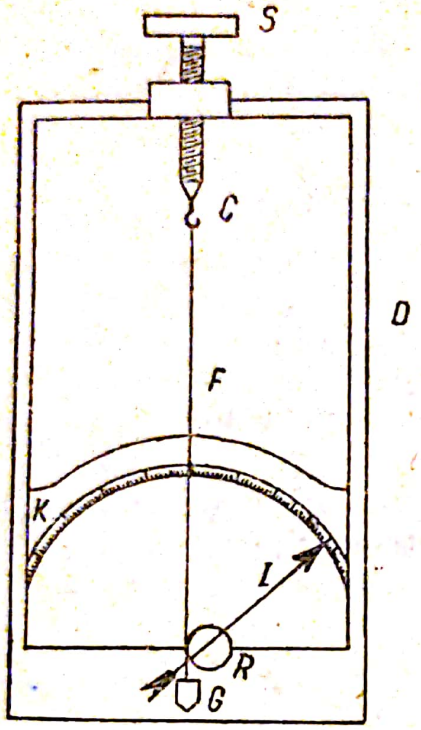

Fig. 155. — Higrometrul cu fir de păr.

141. **Higrometrul Daniel** se compune dintr-un tub de sticlă ACB (fig. 156), îndoit de două ori și cu extremitățile terminate cu cîte un balon. În interiorul balonului A se află eter și vapori de eter, care se răspîndesc în tot tubul. Higrometrul are două termometre, unul exterior T, pentru temperatura mediului înconjurător, și altul interior T_1 cu rezervorul în sfera A. Sfera A este din sticlă aurită pe o porțiune de forma unui inel de jur împrejur ca să putem distinge cu ușurință ceața care se va forma atunci cînd temperatura citită la termometrul T_1 va fi destul de mică, încît vaporii să devină saturanți. Sfera B este învelită în tifon. Se picură eter peste tifonul sferei B. Prin evaporare, acesta răcește balonul. Continuînd să turnăm eter,

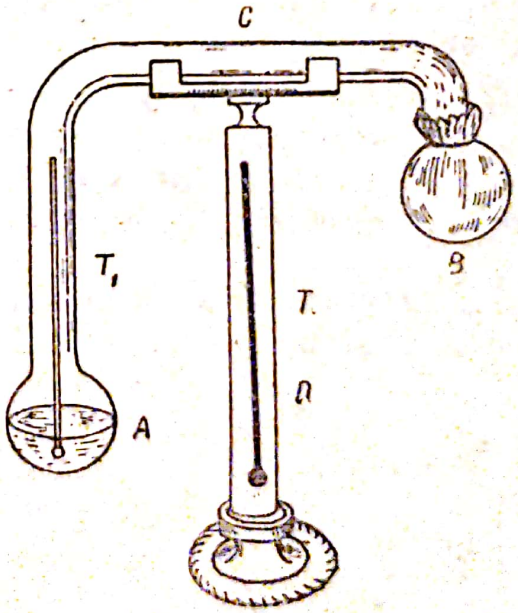

Fig. 156. — Higrometrul Daniel.

vom observa la un moment dat aburirea rezervorului A. În acest moment, încetăm să mai turnăm eter și citim temperatura la termometrul T_1, cînd apare punctul de aburire. Înseamnă că, pentru această temperatură T_1, vaporii de apă existenți în atmosferă devin saturanți, deoarece s-au condensat. La termometrul T citim temperatura mediului înconjurător. Căutăm în tabele presiunile vaporilor saturanți corespunzătoare celor două temperaturi. Raportul lor, adică $\frac{f}{F}$ ne dă tocmai umiditatea relativă.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 7
Determinarea umidității relative

Măsurarea temperaturii punctului de aburire este metoda cea mai exactă pentru determinarea umidității relative. Putem reuși cu ușurință, folosind un pahar (fig. 157), în care turnăm eter. Volumul eterului nu va depăși o treime din volumul total al paharului. Astupăm paharul cu un capac în care am făcut trei găuri. În una din ele introducem un termometru T, iar în celelalte două cîte un tub de sticlă îndoit în unghi drept, unul dintre ele fiind cufundat în eter. Suflăm aer prin tubul cufundat în eter. Se produce o scădere a temperaturii din cauza evaporării eterului care absoarbe căldura necesară de la pahar. Putem micșora astfel temperatura pînă cînd ajungem la temperatura la care vaporii de apă din aer devin saturanți. În acel moment, pereții paharului se aburesc. Citim temperatura la termometru. Să presupunem că punctul de aburire astfel observat este de 10°C, în timp ce temperatura aerului este de 20°C. Am aflat astfel că vaporii de apă din aer devin saturanți la temperatura de 10°C, adică presiunea vaporilor de apă nesaturanți la 20°C este egală cu presiunea vaporilor saturanți la temperatura de 10°C. Căutăm în tabel și găsim că la temperatura de 10°C presiunea vaporilor de apă saturanți este 9,2 torr. Presiunea vaporilor saturanți la temperatura de 20°C tot din tabel este de 17,5 torr. Umiditatea relativă va fi deci:

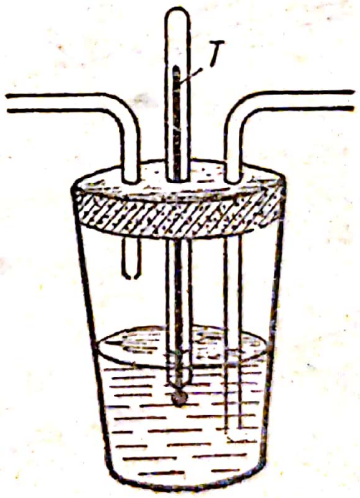

Fig. 157. — Determinarea umidității relative.

$$B = \frac{f}{F} = \frac{9,2}{17,5} \cdot 100 = 52,7\%.$$

Repetăm experiența de mai multe ori, trecem datele într-un tabel și valoarea cea mai exactă a umidității o obținem făcînd media vaporilor din tabel.

f_{torr}	F_{torr}	%	Media %

Scanned with OKEN Scanner

METEOROLOGIA ȘI IMPORTANȚA EI PENTRU AGRICULTURĂ ȘI AVIAȚIE

142. **Meteorologia.** Meteorologia este știința care se ocupă cu studiul schimbărilor fizice care se petrec în atmosferă.

Meteorologia studiază numai schimbările din troposferă, adică schimbările din pătura inferioară a atmosferei: pătură în care iau naștere norii, ceața, ploile etc.

Roua. În cursul nopții, corpurile de la suprafața pămîntului se răcesc mai mult decît aerul din cauza radiației. Răcirea lor produce și răcirea stratului de aer înconjurător și, dacă această răcire este suficient de mare, se produce condensarea vaporilor de apă care se găsesc în aer. Picăturile de apă se depun pe pămînt și pe plante, formînd ceea ce numim *rouă*.

Roua nu se depune uniform pe toate corpurile: ea este cu atît mai abundentă, cu cît corpul s-a răcit mai repede.

Chiciura. Cînd răcirea în cursul nopții, datorită radiației, produce scăderea temperaturii corpurilor sub 0°C, picăturile de apă care formau roua se solidifică și corpurile, ca și pămîntul, se acoperă cu un strat alb, cunoscut sub numele de *chiciură*.

Acest fenomen se observă de obicei la începutul primăverii și la sfîrșitul toamnei și distruge plantele. Pentru a le apăra, este suficient să producem nori artificiali, prin ardere de materii rășinoase. Acești nori împiedică răcirea puternică prin radiație.

Iarna, dacă scăderea temperaturii este foarte mare, vaporii de apă îngheață, cristalizînd în aer în jurul ramurilor arborilor, producînd efecte spectaculoase, dar foarte periculoase pentru arbori.

Ceața. Ceața provine din condensarea vaporilor de apă, în apropierea pămîntului, în picături atît de fine, încît sînt invizibile cu ochiul liber. Cauza care o produce este în general scăderea temperaturii unei mase de aer bogat în vapori de apă și, prin urmare, aproape de punctul de saturație. O dată cu creșterea temperaturii, ceața dispare încetul cu încetul din cauza evaporării picăturilor de apă. Ceața locală este foarte obișnuită dimineața, pe rîuri, sau în regiunile mlăștinoase, pentru că, în aceste locuri, apa are o temperatură mai ridicată decît aerul înconjurător.

Scanned with OKEN Scanner

METEOROLOGIA ȘI IMPORTANȚA EI PENTRU AGRICULTURĂ ȘI AVIAȚIE

142. **Meteorologia.** Meteorologia este știința care se ocupă cu studiul schimbărilor fizice care se petrec în atmosferă.

Meteorologia studiază numai schimbările din troposferă, adică schimbările din pătura inferioară a atmosferei: pătură în care iau naștere norii, ceața, ploile etc.

Roua. În cursul nopții, corpurile de la suprafața pămîntului se răcesc mai mult decît aerul din cauza radiației. Răcirea lor produce și răcirea stratului de aer înconjurător și, dacă această răcire este suficient de mare, se produce condensarea vaporilor de apă care se găsesc în aer. Picăturile de apă se depun pe pămînt și pe plante, formînd ceea ce numim *rouă*.

Roua nu se depune uniform pe toate corpurile: ea este cu atît mai abundentă, cu cît corpul s-a răcit mai repede.

Chiciura. Cînd răcirea în cursul nopții, datorită radiației, produce scăderea temperaturii corpurilor sub 0°C, picăturile de apă care formau roua se solidifică și corpurile, ca și pămîntul, se acoperă cu un strat alb, cunoscut sub numele de *chiciură*.

Acest fenomen se observă de obicei la începutul primăverii și la sfîrșitul toamnei și distruge plantele. Pentru a le apăra, este suficient să producem nori artificiali, prin ardere de materii rășinoase. Acești nori împiedică răcirea puternică prin radiație.

Iarna, dacă scăderea temperaturii este foarte mare, vaporii de apă înghețată, cristalizînd în aer în jurul ramurilor arborilor, producînd efecte spectaculoase, dar foarte periculoase pentru arbori.

Ceața. Ceața provine din condensarea vaporilor de apă, în apropierea pămîntului, în picături atît de fine, încît sînt invizibile cu ochiul liber. Cauza care o produce este în general scăderea temperaturii unei mase de aer bogat în vapori de apă și, prin urmare, aproape de punctul de saturație. O dată cu creșterea temperaturii, ceața dispare încetul cu încetul din cauza evaporării picăturilor de apă. Ceața locală este foarte obișnuită dimineața, pe rîuri, sau în regiunile mlăștinoase, pentru că, în aceste locuri, apa are o temperatură mai ridicată decît aerul înconjurător.

Scanned with OKEN Scanner

Uneori, cînd ne urcăm pe munte, trecem prin nori; ei sînt picături fine de apă care se mișcă sub acțiunea vîntului și cad continuu spre pămînt. Căderea picăturilor este încetinită de rezistența aerului și de curenții de aer cald care se ridică de la suprafața pămîntului. Partea inferioară a norului se vaporizează și vaporii ridicîndu-se refac picăturile de apă. Astfel se explică de ce formele norilor variază în permanență.

Norii. Norii nu sînt decît ceața care se formează în regiunile superioare ale atmosferei, unde temperatura este mult mai scăzută decît la suprafața pămîntului. Prin urmare, norii sînt grămezi formate din picături de apă foarte mici, care plutesc în atmosferă. Dacă temperatura este mai mică decît zero grade, norii sînt grămezi de gheață foarte fină.

Nu totdeauna prezența norilor are ca urmare producerea ploii; prin urmare, ca să plouă, sînt necesare anumite condiții. Dacă vom răci aerul care conține mulți vapori de apă, dar care este absolut curat, nu vom putea produce nori sau ceață, chiar dacă temperatura este inferioară temperaturii necesare transformării vaporilor în picături de apă. Repetînd experiența și introducînd în aer un praf foarte fin, ca fumul, se va forma imediat ceață sau nori, deoarece de data aceasta au existat centre de condensare — particule de fum. În atmosferă se găsesc în permanență cantități mari de praf, fum și alte particule minuscule, care sînt centre de condensare și permit formarea norilor, dar plouă numai cînd în aer se găsesc în același timp picături de apă și cristale de gheață. Depunerea picăturilor de apă pe cristale de gheață mărește greutatea cristalului de gheață, care acum nu se mai poate menține în aer și cade. În timpul căderii, cristalul de gheață trece prin straturi cu temperaturi din ce în ce mai ridicate, el se topește, și pe pămînt cad picături mari de apă, adică ploaie.

Am arătat cîteva transformări pe care le suferă vaporii de apă din atmosferă; ele alcătuiesc numai o parte din fenomenele meteorologice.

143. Prevederea vremii. Studiul fenomenelor meteorologice, al cauzelor care le produc, al legăturii dintre ele i-a dus pe cercetători la concluzia că, dacă se cunoaște starea actuală a vremii pe o suprafață întinsă, este posibil să se prevadă cum va fi ea în viitor.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se prevedea vremea, este necesar să se cunoască toate datele meteorologice: umiditatea aerului, temperatura aerului, direcția și viteza vîntului pe o suprafață cît mai mare. Pe lîngă fiecare observator meteorologic există cîte un serviciu care recepționează telegrame cu date asupra tuturor fenomenelor meteorologice din locurile respective. Cu ajutorul acestor date, se alcătuiește un tablou de ansamblu, adică o hartă a vremii existente în momentul respectiv în regiunile din care au fost primite telegramele.

Această hartă este folosită în elaborarea prevederii vremii pentru zilele următoare. Dacă analiza acestor hărți arată că mîine va sosi o masă de aer cald, cercetătorul va prevedea o creștere a temperaturii. La noi în țară există stațiuni meteorologice pentru culegerea datelor în majoritatea orașelor, ca și pe diferitele înălțimi, de exemplu la malul mării, vîrful Omul etc.

La București-Băneasa și la Cluj se lansează zilnic în atmosferă și radiosonde purtate de baloane de cauciuc umplute cu hidrogen. Viteza de urcare a balonului este cunoscută. Prin semnalele pe care le emit radiosondele, se pot determina valorile presiunii, temperaturii și umidității la diferite înălțimi. Cu ajutorul acestor valori, primite însă de la mai multe stațiuni, se construiesc hărțile de altitudine, numite și hărți aerologice, absolut necesare în prevederea vremii.

Prevederea vremii are o importanță deosebită, mai ales pentru aviație și agricultură. Nici un avion nu-și ia zborul înainte de a cunoaște cu precizie harta aerologică a regiunilor prin care va trece.

Meteorologia are astăzi un rol important în agricultură: datorită radiofoniei, buletinele Institutului meteorologic pentru prevederea timpului sînt cunoscute în toată țara, de cîteva ori pe zi. Cunoscînd dinainte cu cîteva zile cum va fi vremea, agricultorii pot executa muncile cîmpului la timpul cel mai potrivit, sau pot lua măsuri pentru apărarea culturilor de înghețurile, brumele sau furtunile anunțate de meteorologi.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se numește umiditate absolută?
2. Ce se numește umiditate relativă?
3. Ce este punctul de aburire?
4. Ce sînt higrometrele?
5. Ce aspecte pot prezenta vaporii de apă din atmosferă?

Scanned with OKEN Scanner

PROBLEME

1. Care este umiditatea relativă într-o zi în care temperatura este de 37°C și temperatura punctului de aburire 23°C? Care este presiunea parțială a vaporilor de apă din atmosferă?

Răspuns: 42%.

2. Care este temperatura punctului de aburire într-o zi în care temperatura este de 20°C și umiditatea relativă de 60%. Care este umiditatea absolută?

Răspuns: 11°C; 10,4 g/m³.

3. Volumul unei camere închise cu temperatură constantă de 20°C este de 80 m³. Umiditatea relativă a camerei este de 10%. Dacă un vas cu apă este adus în cameră, cîte grame de apă se vor evapora?

Răspuns: 1 262,16 g.

4. Temperatura într-o cameră este de 40°C. Un vas cu apă este răcit încetul cu încetul prin adăugare de apă rece. La 10°C, suprafața vasului se aburește. Care este umiditatea relativă a camerei?

Răspuns: 16%.

Scanned with OKEN Scanner

144. Motor termic. Am văzut că energia se prezintă în natură sub diferite forme: mecanică, hidraulică, electrică, chimică, radiantă, *calorică* (sau termică) etc. Energiile se pot transforma dintr-o formă în alta. *Transformarea unei energii oarecare în energie mecanică se face cu ajutorul unor mașini care se numesc, în general, motoare.*

Motoarele sînt de mai multe feluri; ele iau numele după energia pe care o transformă în energie mecanică.

De exemplu: o cădere de apă (energie hidraulică) pune în mișcare o turbină hidraulică, deci produce energie mecanică la arborele (axul) turbinei. Se transformă energia hidraulică în energie mecanică. Turbina hidraulică este deci un *motor hidraulic*.

Alt exemplu: se alimentează cu energie electrică un motor. Rotorul motorului se învîrtește și poate acționa alte mașini. S-a transformat energia electrică în energie mecanică. Avem de-a face cu un *motor electric*.

Alt exemplu: într-un cazan se încălzește apă, se produc vapori de apă (abur), care intră apoi într-un cilindru și apasă asupra unui piston pe care îl mișcă (locomotiva de cale ferată). S-a transformat energia calorică (termică) în energie mecanică. Este vorba deci de un *motor termic*.

145. Diferite feluri de motoare termice. Într-un motor termic, energia termică (cantitatea de căldură) este produsă prin arderea unui combustibil (cărbune, păcură, benzină, motorină). Această cantitate de căldură este transmisă *unei mase gazoase* (aer, abur, gaze de ardere), care își mărește presiunea și apasă asupra unui perete mobil (piston sau paletă de turbină) și produce mișcare.

Scanned with OKEN Scanner

Într-o locomotivă, combustibilul arde în focar. Cantitatea de căldură produsă se transmite apei din cazan și se produce abur, care apasă pe pistonul din cilindru. Aici, arderea combustibilului se face în afară, în exteriorul cilindrului. Aceste motoare termice, în care combustibilul arde *în afara cilindrului*, se numesc motoare termice *cu ardere externă* (exemplu: locomotiva, locomobila, turbina cu abur).

Într-un motor de automobil se introduce în cilindru un amestec de vapori de benzină cu aer. Acest amestec este aprins printr-o scînteie electrică și arde în interiorul cilindrului. Cantitatea de căldură rezultată din ardere ridică presiunea masei gazoase, care apasă asupra pistonului din cilindru, producînd astfel o mișcare. În acest motor, combustibilul (benzina) a ars chiar în interiorul cilindrului. Asemenea motoare termice, în care combustibilul arde chiar *în interiorul cilindrului*, se numesc motoare termice *cu ardere internă* (exemplu: motoarele cu aprindere prin scînteie, numite impropriu „cu explozie", motoarele Diesel).

În concluzie: **motoarele termice se împart în două mari grupe:**

— **cu ardere externă,**

— **cu ardere internă.**

146. **Bazele fizice ale funcționării unui motor termic.** În orice motor termic trebuie să existe o sursă de căldură (combustibilul care arde). Cantitatea de căldură produsă se transmite unei mase de fluid gazos (abur, aer cald, gaze de ardere), ridicîndu-i temperatura. Presiunea masei gazoase crește și apasă asupra pereților camerei în care se află (un cilindru) (fig. 158). Dacă unul din pereți este mobil (pistonul), el se va deplasa, producîndu-se un lucru mecanic. Pe măsură ce pistonul se deplasează, volumul ocupat de masa gazoasă se mărește și presiunea ei scade. Fluidul gazos transformă cantitatea de căldură pe care

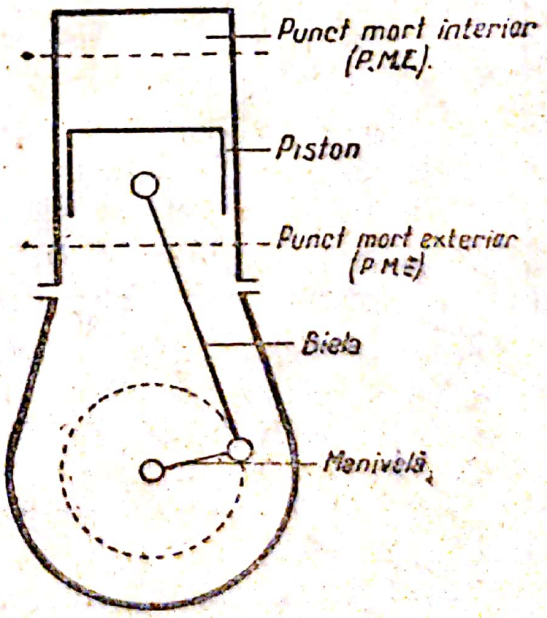

Fig. 158. — Schema unui cilindru cu piston.

Scanned with OKEN Scanner

a primit-o în lucru mecanic, iar temperatura lui scade. Pistonul este apoi readus în poziția inițială și se continuă de la început șirul de transformări. Spunem că mașina lucrează după un **ciclu** de transformări, care se repetă. Funcționarea unei mașini termice se bazează deci pe **destinderea unei mase de gaz încălzit și aflat inițial la o presiune ridicată.**

Transformarea căldurii în lucru mecanic se face prin intermediul unui corp gazos, și nu al unuia lichid sau solid, deoarece numai gazele suferă variații mari de volum în funcție de presiune și temperatură. De aceea, ele pot produce deplasări mari ale unei piese mobile și, în consecință, produc lucru mecanic mare.

După cum se știe de la studiul gazelor, destinderea ca și compresiunea gazelor pot fi reprezentate grafic prin diagrame în coordonate rectangulare $p-V$.

Considerăm că am introdus în cilindru un amestec de vapori de benzină cu aer. O scînteie electrică aprinde amestecul. Vaporii de benzină ard, dezvoltînd o cantitate de căldură cu degajare de gaze de ardere.

Cantitatea de căldură produsă face ca presiunea gazelor să crească, ajungînd la o anumită valoare. Într-un sistem de coordonate rectangulare $p-V$ (fig. 159), această stare a gazului corespunde cu punctul A (presiunea p_1 și volumul V_1). Gazul apasă asupra pistonului, care se deplasează spre dreapta figurii. Volumul se mărește pînă la valoarea V_2 (punctul D), iar presiunea scade pînă la valoarea p_2 (punctul B). Gazul s-a destins și a produs un lucru mecanic.

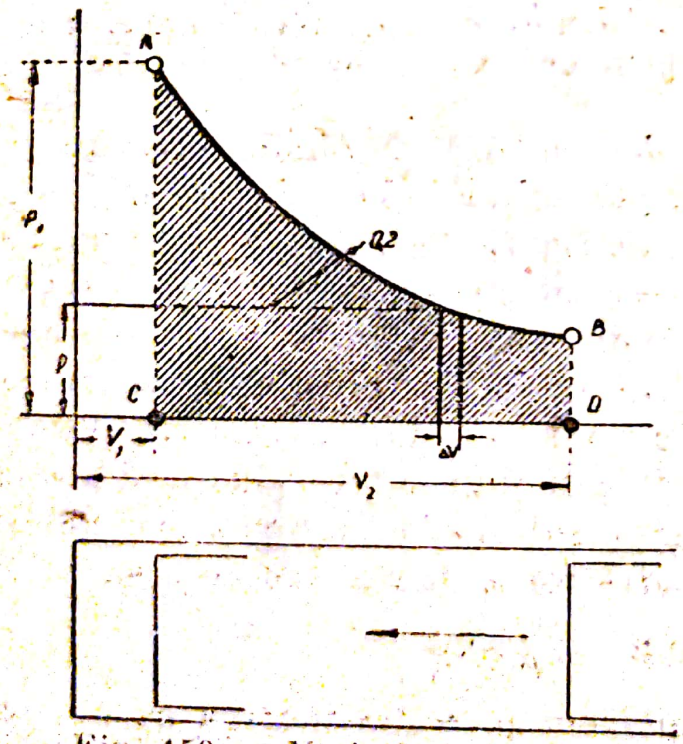

Fig. 159. — Variația volumului unui gaz.

147. Calcularea lucrului mecanic produs prin destinderea gazelor. Să calculăm lucrul mecanic produs prin destinderea gazului. Considerăm mai

întîi destinderea gazului sub presiune constantă (fig. 160). Sub acțiunea forței de presiune

$$F = p_0 S,$$

(în care p_0 este presiunea gazului și S aria secțiunii pistonului), pistonul se deplasează pe distanța $\Delta l = A_1 B_1$; în acest timp volumul crește de la V_1 la V_2 cu o valoare:

$$\Delta V = V_2 - V_1.$$

Lucrul mecanic va fi:

$$W = F \cdot \Delta l = p_0 S \Delta l.$$

Produsul $S \cdot \Delta l = \Delta V$ este variația volumului gazului în destindere. Lucrul mecanic va fi deci:

$$\boxed{W = p_0 \cdot \Delta V.} \qquad (55)$$

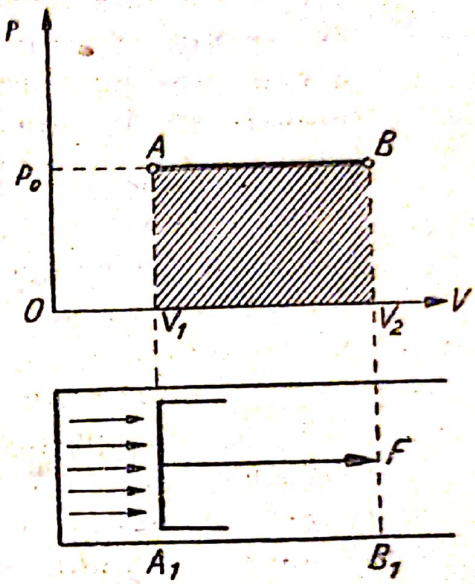

Fig. 160. — Calcularea lucrului mecanic.

În coordonate p—V, evoluția izobară a gazului este reprezentată prin dreapta AB. Aria dreptunghiului ABV_2V_1 *reprezintă, la o anumită scară*, tocmai **lucrul mecanic produs prin destinderea gazului.**

Dar în cazul motoarelor termice, destinderea gazului se face cu variația presiunii, care scade de la o valoare inițială p_1 la o valoare finală p_2. Pe figura 159, diagrama corespunzătoare este curba AB. Lucrul mecanic este reprezentat de aria haşurată $ABCD$. Pentru calcularea lui vom considera că deplasarea CD a pistonului se compune dintr-un număr mare de deplasări foarte mici, care fac să varieze volumul cu cantități așa de mici ΔV, încît putem considera că presiunea rămîne constantă în cursul unei mici deplasări. Pentru o astfel de deplasare foarte mică, lucrul mecanic va fi:

$$\Delta W = p \cdot \Delta V.$$

Lucrul mecanic total făcut prin destinderea gazului de la V_1 la V_2 va fi suma acestor lucruri mecanice mici:

$$L = \sum \Delta W = \sum p \cdot \Delta V.$$

Scanned with OKEN Scanner

Să considerăm acum că, printr-o forță din exterior, pistonul este mișcat în sens invers, adică spre stînga figurii. Volumul se micșorează pînă la V_1, adică așa cum a fost inițial. Pe măsură ce volumul se micșorează, gazul este comprimat și presiunea lui crește. La sfîrșitul compresiunii, gazul a ajuns la presiunea p_1. Curba care reprezintă variația presiunii și a volumului gazului este reprezentată în figura 159, de la B la A. În timpul compresiunii a fost necesar să se dea din exterior un lucru mecanic (proporțional cu aria $BACD$ a suprafeței haşurate aflate dedesubtul curbei BA). În urma compresiunii gazului, s-a produs o cantitate de căldură Q_2 pe care gazul o cedează în exterior. Acest fapt poate fi constatat experimental foarte simplu la o pompă de bicicletă. Comprimînd de mai multe ori aerul, observăm că cilindrul metalic al pompei se încălzește.

148. Scurt istoric asupra evoluției motoarelor termice. În primele faze de dezvoltare a producției, forța motoare folosită era forța omului și a animalelor. Dezvoltarea diferitelor meșteșuguri a necesitat introducerea mașinilor, care foloseau forța apei și a vîntului. Mai tîrziu, cerințele industriei înaintate nu mai erau satisfăcute de roata de apă; ea a fost înlocuită cu un tip nou de mașină: mașina cu abur. Dezvoltarea industriei a făcut să se aducă multe perfecționări mașinii cu abur, care este folosită pînă astăzi, mai ales acolo unde există la îndemînă combustibil ieftin.

Se poate spune că forța aburului se cunoaște încă din secolul al II-lea î.e.n., cînd Heron din Alexandria (120 î.e.n.) a construit un fel de turbină, mai mult o jucărie, bazată pe forța aburului. Mult mai tîrziu, Denis Papin (1707) a folosit forța aburului produs într-o autoclavă, pe care l-a trimis într-un cilindru să împingă un piston. Mașina lui Papin a folosit în Anglia la scoaterea apei din minele de cărbuni. Tehnicianul rus Ivan Polzunov a construit (1765) o mașină cu abur în uzinele metalurgice din Altai, pentru a introduce aer în cuptoarele de topire a metalelor. Pentru a obține un mers mai uniform al mașinii, Polzunov a construit-o cu doi cilindri. Prin intermediul unor roți, mișcarea rectilinie a pistonului era transformată în mișcare alternativă și în acest fel acționa niște foale care suflau aerul necesar în cuptoare.

Toate mașinile acestea foloseau aburul la presiunea atmosferică, de aceea se numesc și mașini atmosferice. James Watt a folosit aburul la o presiune superioară pre-

Scanned with OKEN Scanner

siunii atmosferice. Aburul care se obține în cazanul *C* (fig. 161) este trimis printr-un tub în cilindru pe rînd deasupra și dedesubtul pistonului *P*. Cînd se deschide robinetul *2*, aburii intră în cilindru, se destind și apasă pistonul, pe care-l deplasează, producînd lucru mecanic util. Supapa de evacuare *4* se deschide și aburul iese în atmosferă.

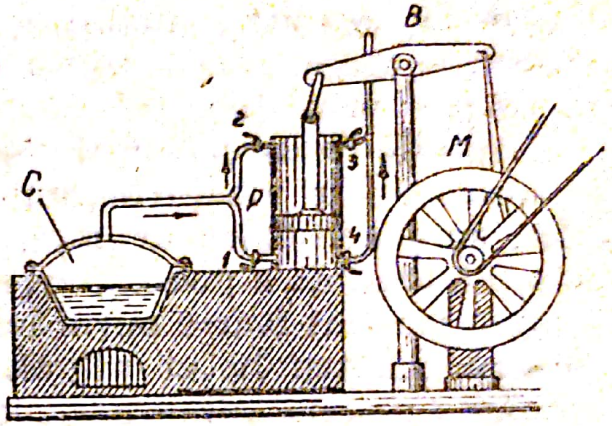

Fig. 161. — Forța aburului la motoarele termice.

Închizînd robinetele *2* și *4* și deschizînd robinetele *1* și *3*, fenomenul se repetă. Pistonul se mișcă rectiliniu, însă, cu ajutorul balansierului *B*, precum și al mecanismului *M*, această mișcare rectilinie se transformă în mișcare circulară a unui arbore cu volant.

Mașinile cu abur s-au perfecționat din ce în ce mai mult, folosind destinderea multiplă, supraîncălzirea aburului, folosirea condensatoarelor etc. Totuși, din cauza randamentului lor scăzut, au apărut alte tipuri de motoare termice mai perfecționate care s-au dezvoltat și continuă să se dezvolte și astăzi.

MOTOARE TERMICE CU ARDERE EXTERNĂ

149. **Generalități despre mașina cu abur.** Se obișnuiește să se numească mașină cu abur *mașina cu abur cu piston*.

Părțile esențiale ale unei mașini cu abur cu piston sînt:

— batiul care susține ca un schelet părțile mașinii;

— generatorul de abur;

— organele motoare: cilindru, piston, sistem bielă-manivelă;

— organele de distribuție;

— condensatorul.

Mașina cu abur transformă energia calorică conținută în vaporii de apă sub presiune în energie mecanică.

Din cele cunoscute pînă acum, se știe că un gaz care se află sub presiune exercită o presiune asupra pereților vasului în care este închis și își poate mări volumul.

Scanned with OKEN Scanner

Între anumite limite de presiune și temperatură, aburii se pot asemăna cu gazele.

Aburul se destinde în interiorul cilindrului, cînd împinge pistonul pe lungimea cursei sale.

În mașina cu abur se introduce alternativ aburul pe cele două fețe ale pistonului, pe care îl mișcă rectiliniu; această mișcare rectilinie este transformată apoi în mișcare de rotație prin dispozitivul bielă-manivelă.

Mașinile în care aburul este introdus în mod alternativ pe ambele fețe ale pistonului se numesc *mașini cu dublu efect*, spre deosebire de mașinile în care aburul lucrează pe o singură față a pistonului, numite *mașini cu efect simplu*.

Acestea sînt foarte puțin întrebuințate, doar la ciocanele cu abur pentru bătut piloni.

După poziția cilindrului, mașinile cu abur sînt de două feluri: mașini orizontale și mașini verticale. Mișcarea pistonului în cilindru se face între două puncte extreme

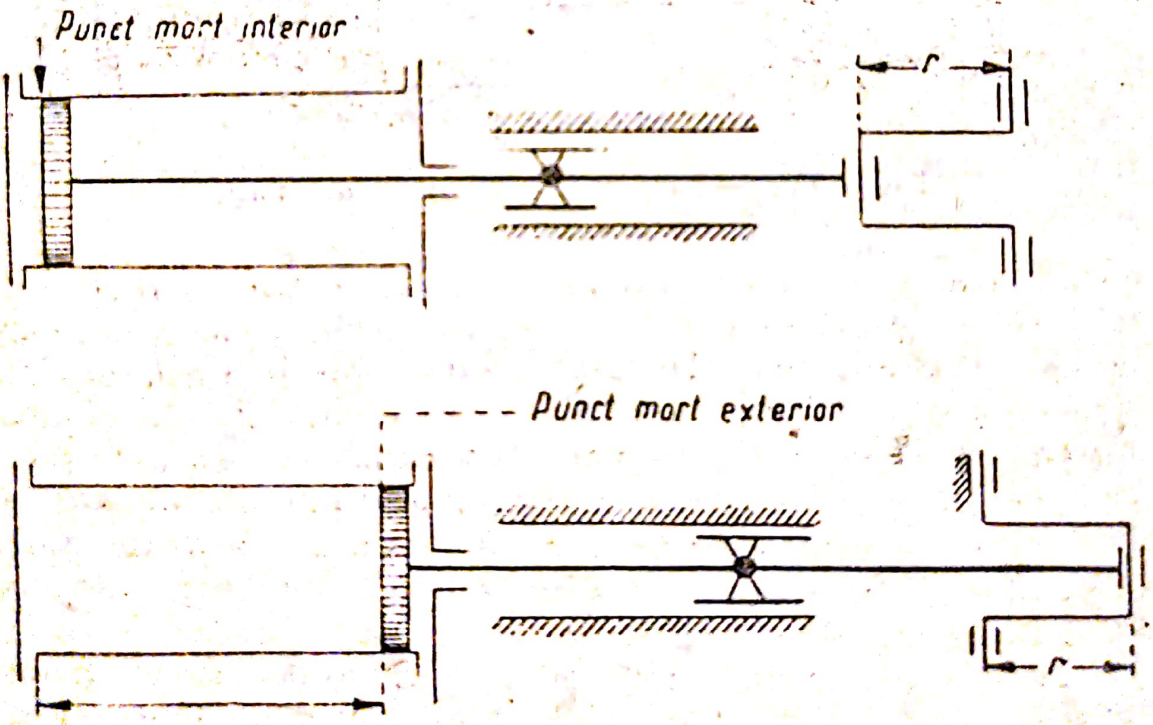

Fig. 162. — Mișcarea pistonului în cilindru.

care se numesc: *punct mort interior* — cînd pistonul este în fundul cilindrului — și *punct mort exterior* — cînd pistonul este în capătul extrem opus.

Drumul parcurs de piston între punctul mort interior și punctul mort exterior se numește cursa pistonului (fig. 162).

Scanned with OKEN Scanner

150. **Generatorul de abur** (cazanul). În mașinile cu abur se obține lucru mecanic din energia termică a aburului. Aburul se obține într-un generator de abur. Acesta este format dintr-un cazan care conține apă și deasupra ei vapori. Mai există un coș prin care se face tirajul în focar, aparate care alimentează cu apă cazanul, dispozitive de siguranță etc.

Cel mai simplu cazan (fig. 163) este tipul vechi de cazan cilindric cu fundurile bombate *(1)*. În partea superi-

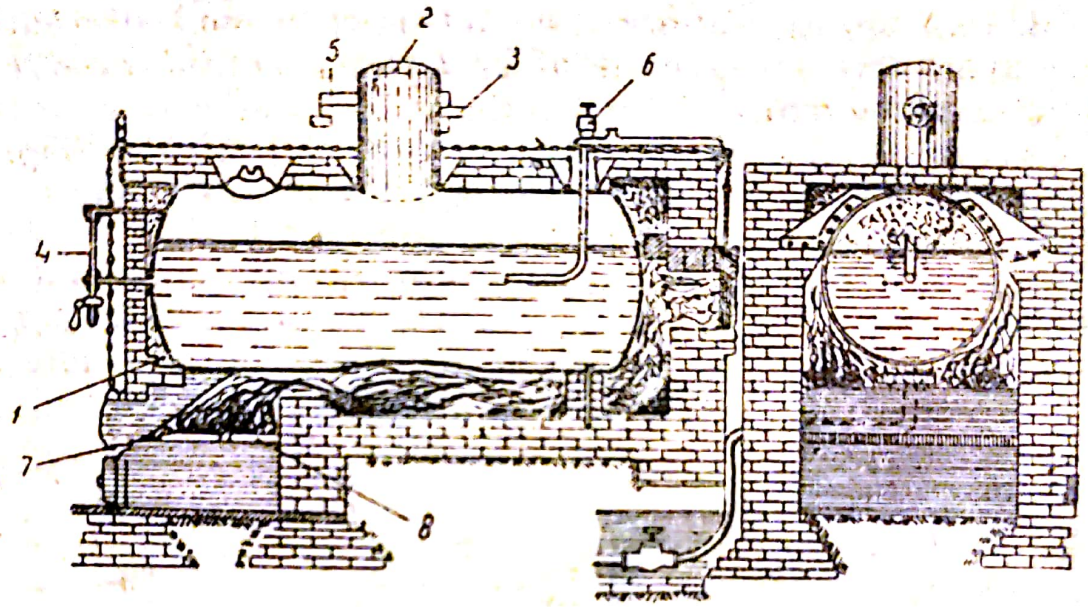

Fig. 163. — Cazanul cu funduri bombate.

oară, cazanul are un recipient, mic, numit *dom de abur (2)*, în care se adună aburul și se separă de particulele de apă pe care le-a antrenat. În felul acesta, aburul din dom este relativ uscat și este dus printr-o conductă *(3)* și printr-o supapă de admisie în cilindru. Din cauză că apa prin fierbere precipită săruri care se depun pe fund sau pe pereți, în partea de jos a cazanului se prevede o ușă de vizitare prin care se spală și se curăță cazanul. Tot în partea lui inferioară se află o conductă de golire.

Apa umple partea inferioară a cazanului, care se numește *spațiu de apă*; aburul se adună în partea superioară, numită *spațiu de abur*. Suprafața apei care separă cele două spații se numește *suprafața de vaporizare*.

Nivelul apei din cazan este controlat cu ajutorul indicatorului de nivel *(4)*, care este un tub de sticlă a cărui parte inferioară comunică cu spațiul de apă, iar partea superioară comunică cu spațiul de abur.

Scanned with OKEN Scanner

Domul are racorduri de care se leagă conducta de abur și supapa de siguranță *(5)*. Supapa de siguranță se deschide dacă presiunea aburului din cazan trece peste limita admisibilă, și aburul iese în atmosferă, micșorînd presiunea din cazan.

Apa se introduce în cazan printr-un ventil de alimentare *(6)*. Dedesubtul cazanului se așază focarul format din camera focarului *(7)* și cenușar *(8)*.

Gazele rezultate din ardere circulă prin canale de fum sub acțiunea tirajului produs de coș.

Căldura dezvoltată prin arderea combustibilului încălzește apa și se formează abur. Presiunea lui este urmărită la un manometru.

Cazanul trebuie să fie astfel construit, încît să suporte o presiune înaltă, să dea un randament bun, să ocupe un spațiu cît mai restrîns și să nu existe pericol de explozie.

Cazanul cilindric descris are dimensiuni foarte mari: 8—10 m lungime și 2—3 m diametru. Pereții sînt foarte groși, pentru ca să nu se deformeze sub acțiunea greutății și a presiunii aburului. Suprafața de încălzire este mică,

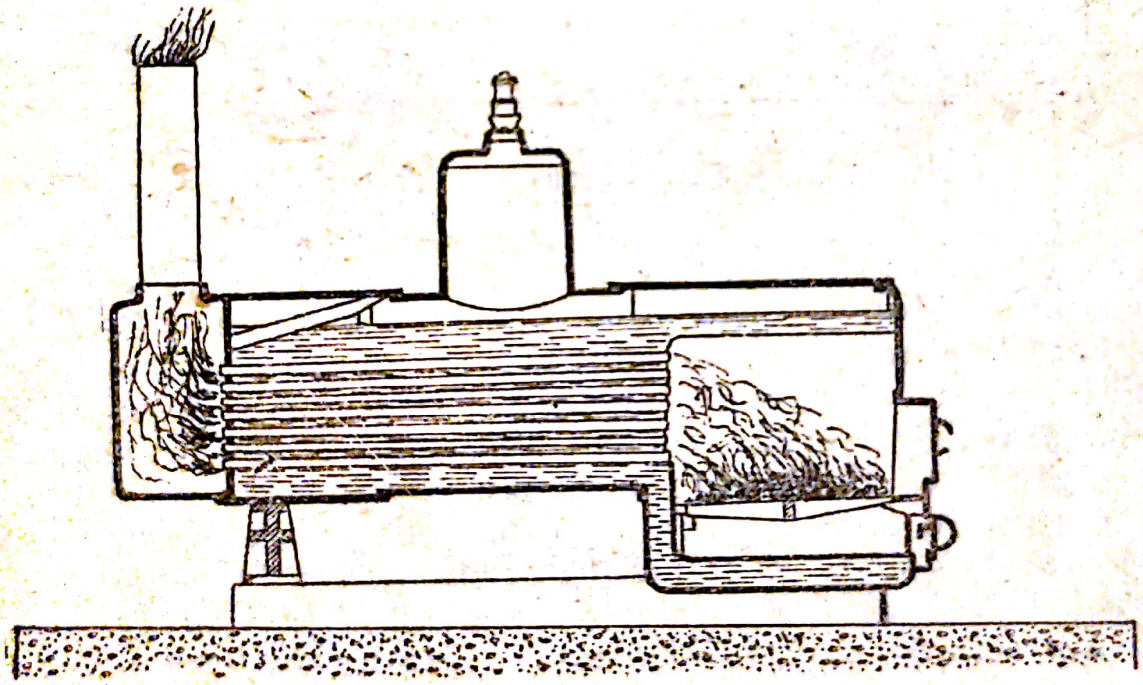

Fig. 164. — Cazan ignitubular.

încît trebuie un timp îndelungat spre a putea fi pus în funcțiune. Vaporizarea este redusă și pericolul de explozie este mare.

Pentru a mări suprafața de încălzire fără a crește spațiul ocupat, se folosesc **cazane ignitubulare** (fig. 164). În aceste

Scanned with OKEN Scanner

cazane, gazele produse prin arderea combustibilului în focar circulă prin niște tuburi numite *țevi de fum* așezate în interiorul cilindrului, paralel cu axul lui. Trecînd prin țevi, gazele vin în contact cu o suprafață mai mare, prin care pot ceda căldura lor. Spațiul ocupat de acest cazan este mic, deoarece se obțin suprafețe mari de încălzire, chiar la lungimi mici ale cazanului. Tirajul trebuie să fie foarte bun, pentru ca gazele să circule prin țevile de fum, pentru că frecările sînt foarte mari. Cazanele ignitubulare se folosesc de obicei la locomobile și la locomotive.

Pentru a produce cantități mari de abur cu presiuni mari, necesare mai ales la turbine, se folosesc **cazane acvatubulare** (fig. 165). Acestea au volum mic de apă, care este adusă repede la temperatura de fierbere. Ele sînt construite din tuburi,

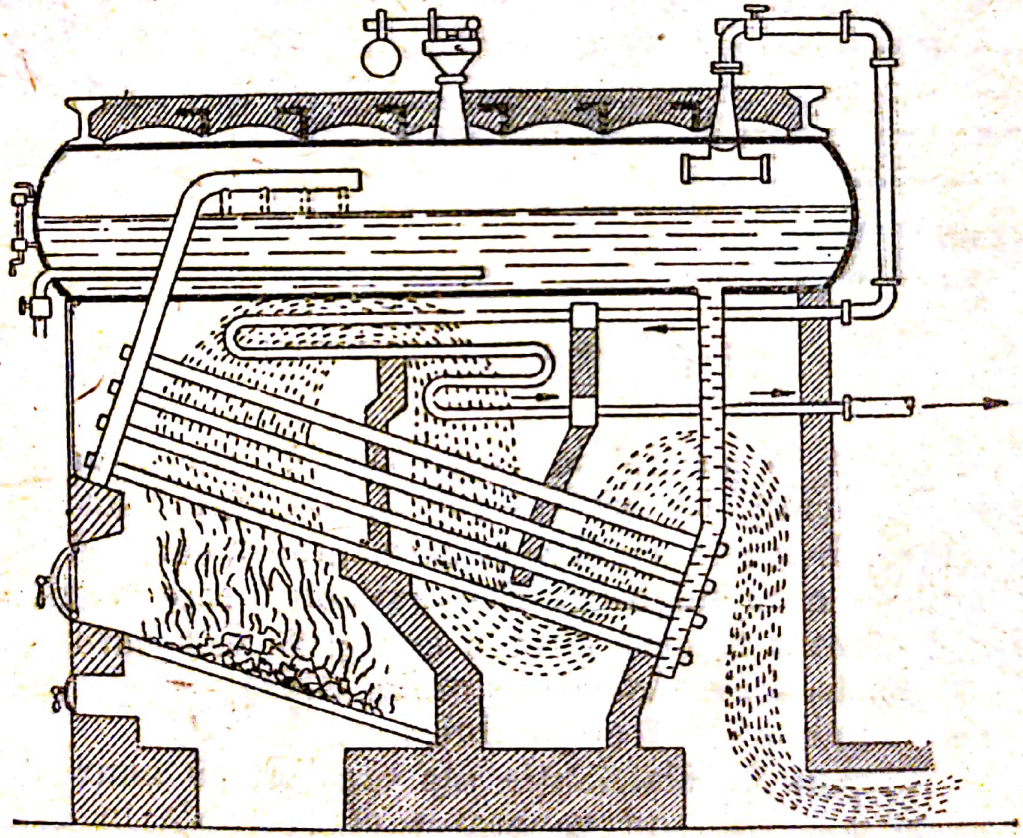

Fig. 165. — Cazan acvatubular.

în interiorul cărora circulă apa, iar în exterior gazele arse. Deoarece apa se găsește în tuburi cu diametru mic, pericolul de explozie este foarte redus. Tuburile prin care circulă apa sînt așezate înclinat (fig. 165), pentru a se mări viteza de circulație a apei. După mărimea înclinației tuburilor

Scanned with OKEN Scanner

față de planul orizontal, cazanele acvatubulare pot fi: cu tuburi orizontale, cu tuburi puțin înclinate (15°) și cu tuburi aproape verticale.

Vaporizarea apei se produce în tuburi. Băşicile de abur sînt mai ușoare decît apa și, din cauza înclinării țevilor, se ridică, ajungînd în corpul cilindric al cazanului. Pentru a obține abur supraîncălzit și uscat, el este trecut în **supraîncălzitor**, unde ajunge la 800°C.

Supraîncălzitorul este construit din țevi în formă de U sau în formă de serpentine (fig. 166).

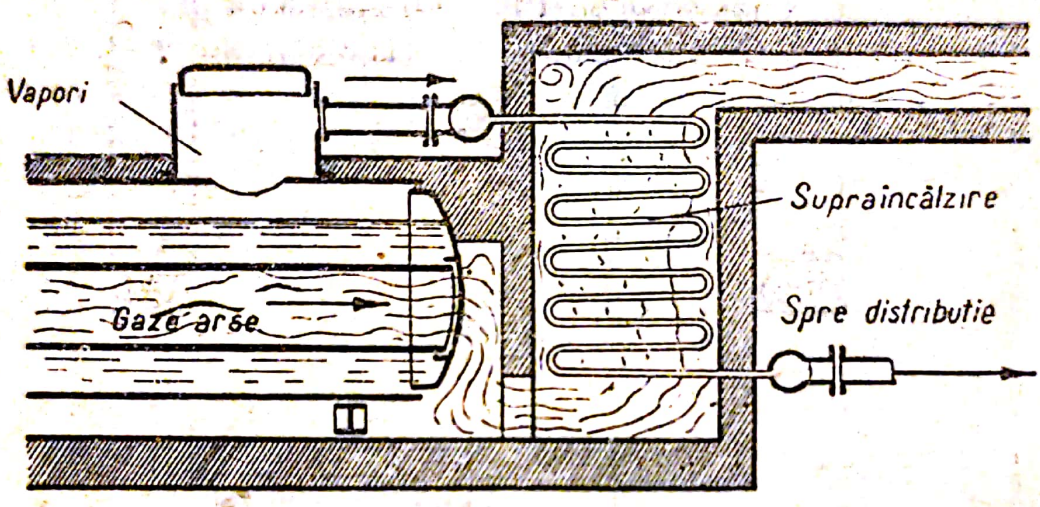

Fig. 166. — Supraîncălzitorul.

Din cauză că gazele care rezultă din ardere au o temperatură ridicată, de 350°C—400°C, ele sînt folosite pentru preîncălzirea apei cu care se alimentează cazanul în aparate numite **economizoare.** Economizorul este format din tuburi de fontă, în care circulă apa și în exteriorul cărora circulă gazele arse. Astfel se reduc pierderile de căldură și crește randamentul cazanului.

151. **Organe de distribuție ale mașinii cu abur cu piston.** Aburul produs în generator este trimis în cilindru unde produce pistonului o mișcare de du-te-vino, deci o mișcare rectilinie alternativă, care este transformată în mișcare de rotație.

În figura 167 este reprezentată o mașină cu abur orizontală cu dublu efect.

Distribuția aburului se face cu ajutorul unei camere de distribuție, care face corp comun cu cilindrul.

Scanned with OKEN Scanner

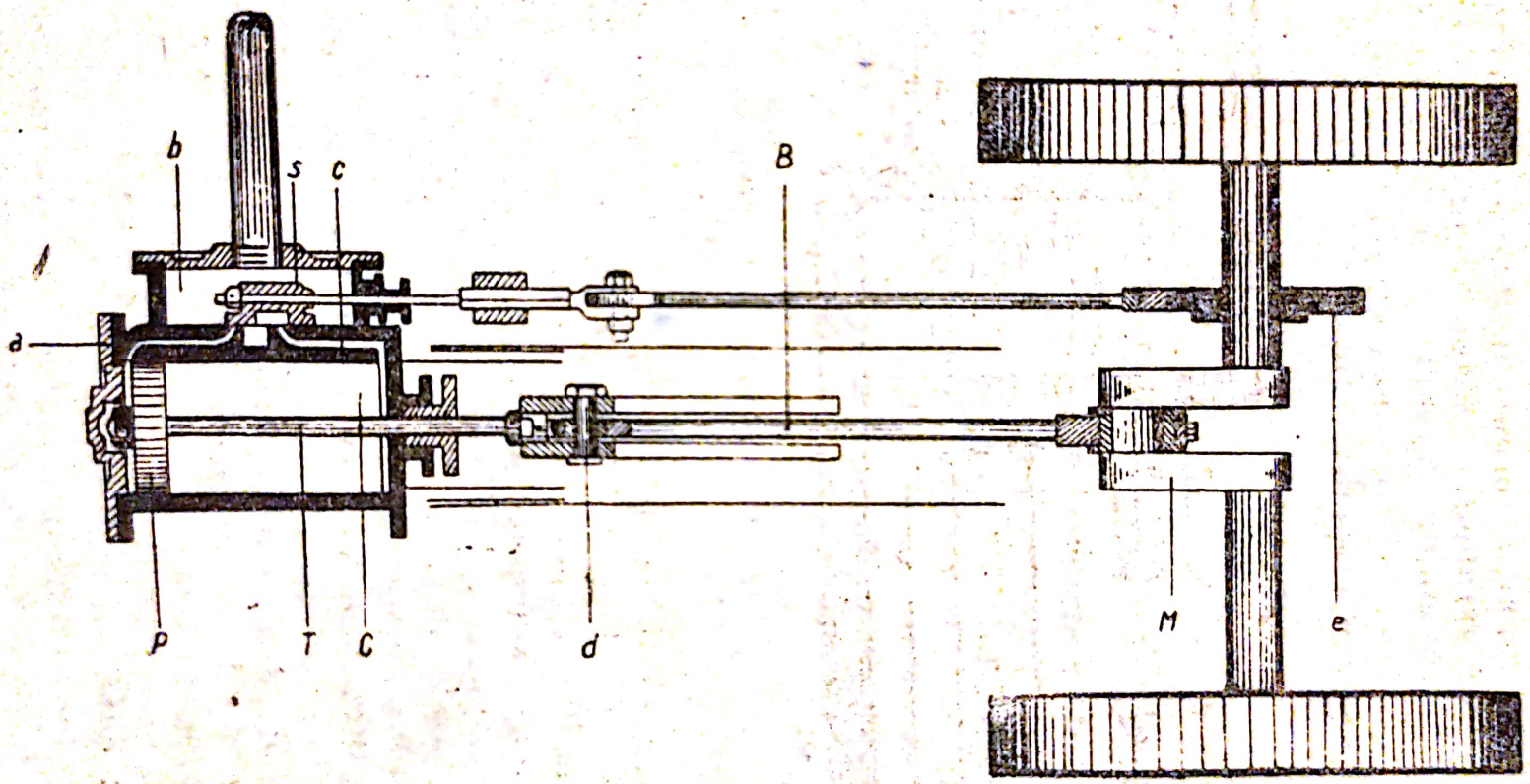

Fig. 167. — Maşina cu abur orizontală cu dublu efect.

Cilindrul *(C)* este partea mașinii în care se transformă energia calorică a aburului în energie mecanică.

Cilindrul se toarnă din fontă rezistentă. Cilindrul are două capace, dintre care unul e demontabil, pentru a se putea introduce pistonul. Deschiderea din capac prin care intră tija pistonului este prevăzută cu garnitură de etanșeitate.

Pistonul *(P)* este un disc cilindric de oțel, care trebuie să alunece în interiorul cilindrului. Pentru ca aburul să nu treacă printre piston și pereții cilindrului, pistonul este prevăzut cu inele de fontă, care asigură etanșeitatea perfectă. Aceste inele fixate pe piston se numesc segmenți. Pistonul este legat la capul de cruce printr-o bară, numită **tija pistonului** *(T)*.

Camera de distribuție *(b)* se mai numește și cutia sertarului. Camera de distribuție este o cutie dreptunghiulară, care se toarnă o dată cu cilindrul. În ea se găsește **sertarul** *(s)*, care face distribuția aburului.

Mișcarea sertarului este comandată de un **excentric** *(e)*, care se compune dintr-un disc de fontă așezat excentric pe arborele-motor (centrul acestui disc nu coincide cu centrul arborelui-motor). În jurul excentricului se așază un inel (colier), care este fixat la biela excentricului și care se învîrtește liber în jurul discului excentricului.

Mecanismul **bielă-manivelă** servește la transformarea mișcării rectilinii alternative a pistonului în mișcare de rotație a arborelui-motor.

Legătura dintre bielă și tija pistonului se face prin capul de cruce *(d)*, care are o mișcare de du-te-vino la fel cu a pistonului și este ghidat de două glisiere (suprafețe de alunecare).

Biela *(B)* se leagă la un capăt cu capul de cruce, făcînd o mișcare de du-te-vino, iar la celălalt capăt cu **manivela** *(M)* și face o mișcare circulară.

152. **Funcționarea organelor de distribuție a vaporilor.** Să urmărim cum funcționează mașina cu abur cu piston. Aburul produs în cazan este condus în camera de distribuție *b* (fig. 168), de unde prin canalele de abur *a* și *c* poate pătrunde în cilindrul *C*. El pătrunde în mod alternativ pe dreapta sau pe stînga pistonului, imprimîndu-i o mișcare rectilinie alternativă în interiorul cilindrului. Închiderea și deschiderea canalelor *a* și *c* se realizează cu ajutorul sertarului *s*, care este mișcat de excentric. Considerăm mo-

Scanned with OKEN Scanner

mentul cînd sertarul se află la mijloc, iar pistonul se află la sfîrșitul cursei sale. În acest moment, manivela se găsește în poziția OM_1, iar excentricul se găsește în poziția ON_1.

Sertarul se mișcă spre dreapta și descoperă canalul *a* complet. Pînă cînd sertarul ajunge în această poziție, manivela descrie un unghi de 90°, ajungînd în poziția OM_2, iar excentricul ajunge în ON_2 (fig. 168, *2*). Din acest moment, sertarul începe cursa inversă, închizînd canalul *a* de admisie și admisia încetează (fig. 168, *3*), începe perioada de expansiune (detentă) a aburului, pistonul continuînd să se miște spre dreapta pînă la sfîrșitul cursei sale. În acest moment, canalele *a* și *c* sînt complet închise, sertarul se află la mijloc, iar manivela a ajuns în OM_3 și excentricul în ON_3 (fig. 168, *3*). Sertarul continuă mișcarea spre stînga, deschizînd canalul *c*, prin care pătrunde aburul în cilindru, pe fața dreaptă a pistonului. Acum aburul împinge pistonul spre stînga, deoarece presiunea lui pe partea stîngă a cilindrului a scăzut, pînă cînd canalul *c* este complet deschis. În acest timp, manivela a ajuns în OM_4 (fig. 168, *4*) și excentricul în ON_4. Sertarul începe apoi mișcarea spre dreapta, pînă revine la mijloc, realizîndu-se situația de la început. Ambele canale sînt închise, iar pistonul ajunge la sfîrșitul cursei în stînga; aburul iese în atmosferă prin conducta *e*; este perioada de evacuare. Manivela se află în OM_1 și excentricul în ON_1 (fig. 168, *1*), apoi pozițiile pistonului și sertarului se repetă și fazele se reproduc.

153. **Organele pentru reglarea mersului mașinii.** Pentru ca viteza cu care se învîrtește arborele mașinii să fie constantă, se întrebuințează organe pentru reglarea mișcării: **volantul** asigură viteza constantă în timpul unei rotații, iar **regulatorul** asigură constanța numărului de rotații în unitatea de timp (frecvența rotației).

Volantul este o roată de oțel (fig. 167), care se fixează pe arborele mașinii. El înmagazinează energie în timpul curselor motoare și o restituie la trecerea prin punctele moarte; din cauza vitezei căpătate, volantul continuă mișcarea și scoate pistonul din punctul mort.

Regulatorul menține rotația constantă, variind durata de admisie a aburului. Cînd viteza de rotație este prea mare, regulatorul reduce durata de admisie, deci cantitatea de abur care intră în cilindru, și invers cînd rotația scade.

Scanned with OKEN Scanner

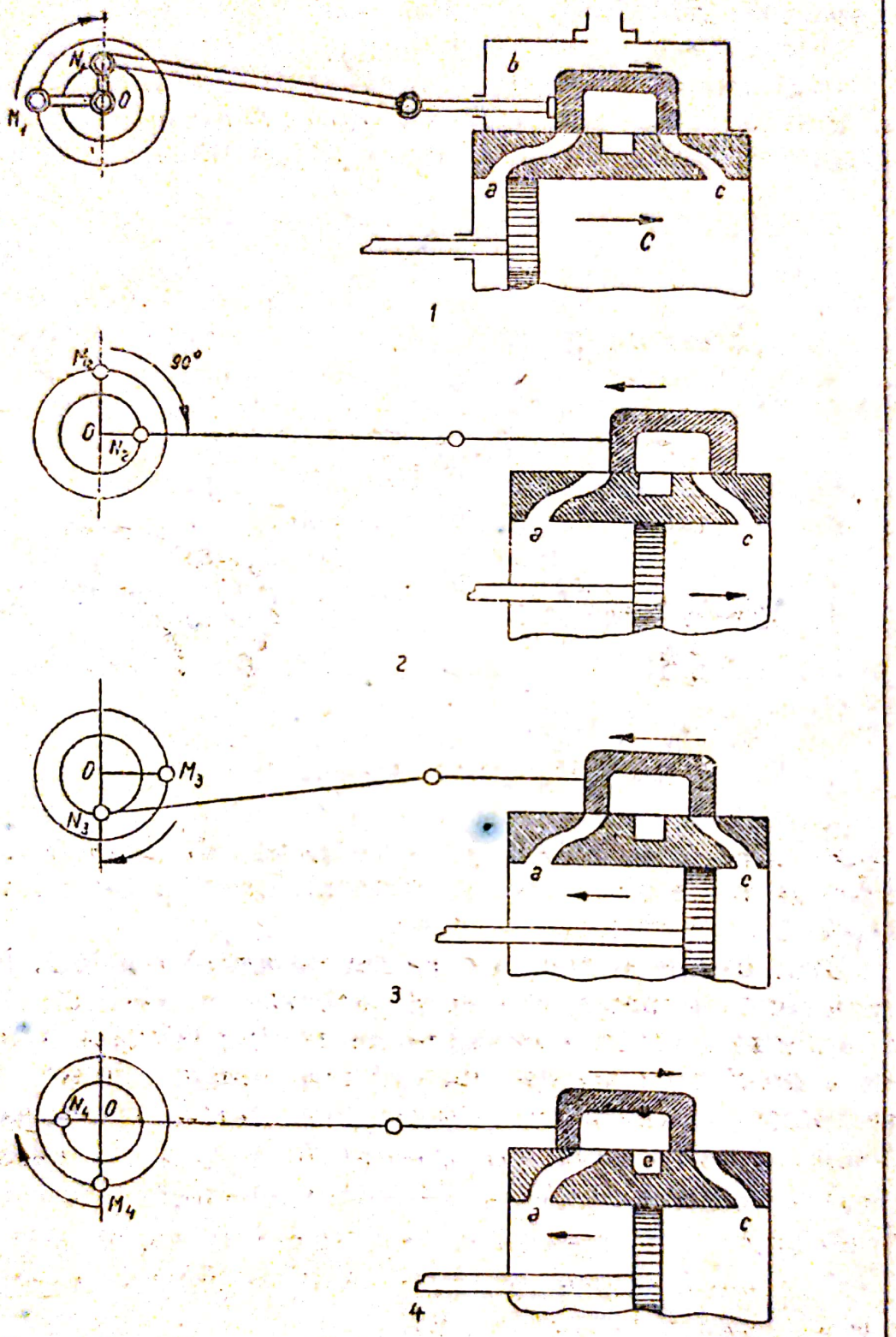

Fig. 168. — Funcționarea organelor de distribuție la o mașină cu abur cu piston.

Scanned with OKEN Scanner

Regulatorul centrifugal Watt (fig. 169) se compune dintr-un paralelogram articulat AOA_1C, axat pe o tijă verticală OC.

Tija primește mișcarea de rotație de la mașină.

Extremitatea C este articulată la un manșon, care se poate ridica sau coborî pe verticală. Acest manșon este articulat cu o pîrghie mobilă în jurul punctului L; la celălalt

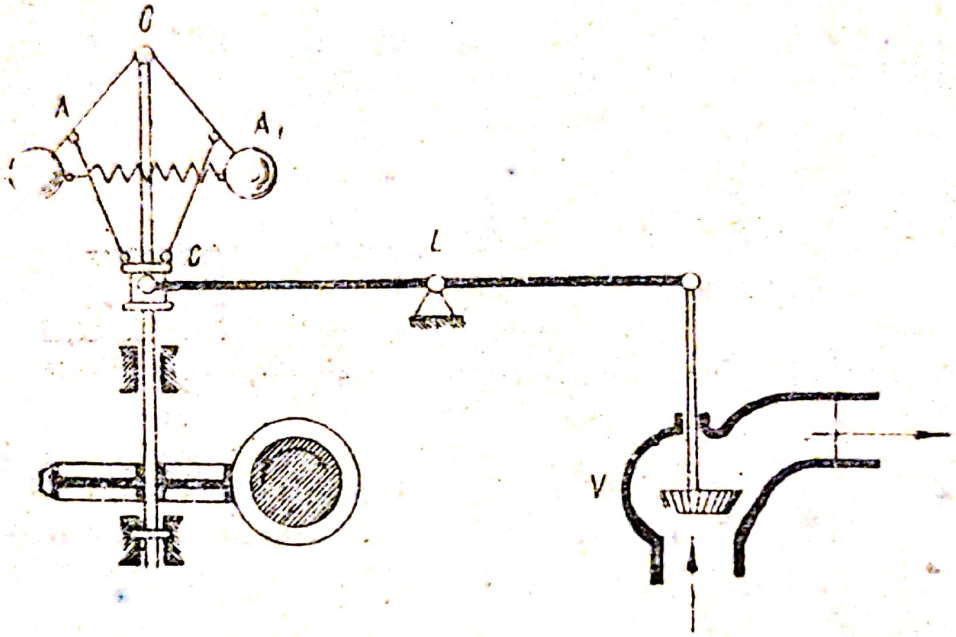

Fig. 169. — Regulatorul centrifugal.

capăt, pîrghia este legată de un sistem de bare, prin care poate să deschidă sau să închidă ventilul V, prin care aburul intră în camera de distribuție.

Brațele OA și OA_1 ale paralelogramului se termină cu două sfere de metal cu aceeași greutate. Atîta timp cît mașina păstrează viteza de regim, pîrghiile păstrează la rotirea lor o poziție constantă; dacă viteza mașinii crește, viteza de rotație a aparatului crește, încît forța centrifugă care rezultă produce ridicarea greutăților o dată cu manșonul, ceea ce aduce închiderea orificiilor de admisie a aburului în cilindru. Cînd mașina își reia viteza de regim, greutățile revin în poziție normală. Fenomenul se petrece invers cînd viteza scade sub cea de regim.

154. **Randamentul unui motor termic.** Într-un motor termic se consumă o cantitate m de combustibil, cu puterea calorică q, care arde și produce o cantitate de căldură $Q_0 = mq$. Din această cantitate de căldură, o bună parte

se pierde prin transmisie în mediul înconjurător, iar altă parte Q_1 este preluată de corpul gazos și adusă în cilindru, la temperatura T_1. În timpul destinderii gazului, o parte $Q_1 - Q_2$ din această cantitate de căldură se transformă în lucru mecanic W (fig. 170), iar restul Q_2 este cedată în exterior, la temperatura $T_2 < T_1$.

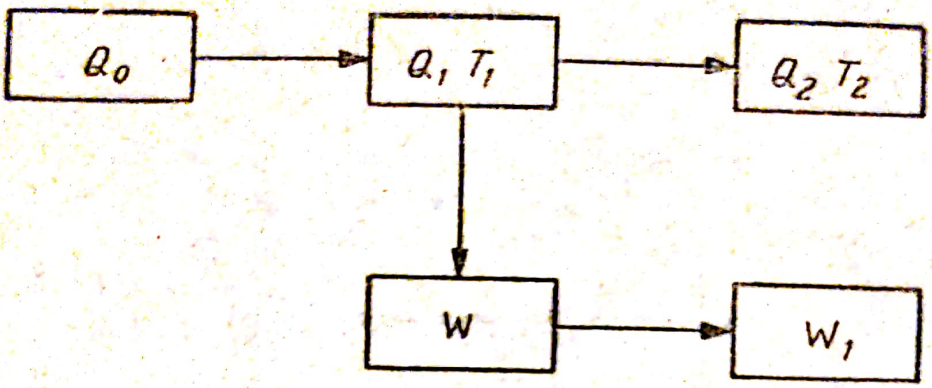

Fig. 170. — Bilanțul termic.

Lucrul mecanic W produs la tija pistonului este apoi transmis arborelui motor. Acesta furnizează lucrul mecanic $W_1 < W$, deoarece o parte $W - W_1$ se pierde, datorită frecărilor.

Randamentul industrial al motorului termic este raportul

$$\eta = \frac{W_1}{JQ_0}.$$

Se numește randament industrial al unui motor termic raportul dintre lucrul mecanic W_1 produs la arborele motor al mașinii în timpul unui ciclu și echivalentul mecanic al cantității de căldură JQ_0 produse prin arderea combustibilului în același timp.

Randamentul teoretic sau termic al motorului se obține raportînd cantitatea de căldură utilă $(Q_1 - Q_2)$ care a dat naștere lucrului mecanic util la întreaga cantitate de căldură Q_1 primită de fluid (abur, gaz). Randamentul se notează cu litera grecească η (eta) și este întotdeauna mai mic decît 1:

$$\boxed{\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.} \qquad (56)$$

Scanned with OKEN Scanner

Cu cît Q_1 este mai mare și Q_2 mai mic, cu atît randamentul teoretic este mai mare, adică mai apropiat de 1.

Se numește randament teoretic sau termic al unui motor termic raportul dintre cantitatea de căldură $Q_1 - Q_2$ efectiv transformată în lucru mecanic într-un timp și cantitatea de căldură Q_1 adusă de abur în cilindru în același timp.

Se observă că într-o transformare ciclică, oricît de perfectă ar fi, *numai o parte $Q_1 - Q_2$ din cantitatea de căldură Q_1 absorbită de fluid (gaz) se transformă în lucru mecanic W. Restul Q_2 este cedat de fluid mediului înconjurător.*

155. **Principiul lui Carnot.** În termodinamică se demonstrează că cel mai perfect ciclu, care are randamentul termic maxim, este ciclul de transformări propus de învățatul francez *Sadi Carnot* în anul 1824. Acest ciclu — în care de asemenea o parte din căldura dată nu se poate transforma în lucru mecanic — este un *ciclu ideal*. Pînă astăzi nu a fost construită nici o mașină termică, ca să funcționeze după acest ciclu ideal. Toți inventatorii de mașini termice au căutat să se apropie — într-un fel sau altul — de acest ciclu, în dorința de a construi un motor care să aibă un randament cît mai mare, adică să consume cît mai puțin combustibil.

Trebuie să menționăm că, în randamentul termic arătat, nu s-au luat în considerație și alte pierderi de căldură, care apar în timpul funcționării motorului (de exemplu, cele datorite frecărilor) și care micșorează randamentul real al motorului.

Pe baza ciclului propus de el, Carnot a demonstrat că randamentul termic maxim al unei mașini termice poate fi calculat cu ajutorul formulei:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \qquad (57)$$

în care: T_1 este temperatura absolută a izvorului cald al mașinii termice, adică al aburului care vine din cazan în cilindru, aducînd cantitatea de căldură Q_1. Temperatura absolută T_2 este a izvorului rece al mașinii termice, adică a aburului care iese din cilindru, după ce a lucrat și s-a răcit.

Scanned with OKEN Scanner

Din cele constatate la analiza randamentului maxim al mașinilor termice, Carnot a ajuns la concluzia că *în cursul unui ciclu nici o mașină termică nu poate transforma în lucru mecanic întreaga cantitate de căldură primită. O parte* Q_2 *din această cantitate de căldură este cedată în exterior, adică trece de la o temperatură mai ridicată* T_1 *la o temperatură mai coborîtă* T_2. Dacă nu ar exista această *diferență de temperatură* $T_1 - T_2$, mașina termică n-ar putea funcționa.

Concluziile lui Carnot constituie **al doilea principiu al termodinamicii.** El se poate enunța astfel:

> **Într-o transformare închisă, căldura nu poate fi transformată integral în lucru mecanic.**

Principiul al doilea al termodinamicii constituie o lege fundamentală a naturii și se aplică în toate procesele fizice în care intervine căldura. El arată că, **pentru a se transforma în lucru mecanic, căldura trebuie să treacă de la o temperatură mai ridicată la o temperatură mai coborîtă.**

Ținînd seama de rezultatul exprimat prin relația (57), se constată că *randamentul termic al unei mașini termice nu depinde de natura substanței gazoase care evoluează în mașina termică; el depinde numai de diferența de temperatură dintre cele două izvoare termice între care lucrează mașina termică.* Pentru a face să crească randamentul unei mașini termice, este necesar să se ridice temperatura T_1 a izvorului cald și să se coboare temperatura T_2 a izvorului rece.

Am văzut că primul principiu al termodinamicii se ocupă de echivalența transformărilor reversibile ale căldurii în lucru mecanic; el nu arată condițiile în care este posibilă această transformare. Aceste condiții sînt indicate de către al doilea principiu al termodinamicii.

Conform primului principiu al termodinamicii, trebuie să se consume o cantitate de căldură pentru a obține lucru mecanic. O mașină care ar efectua continuu lucru mecanic, fără să primească din exterior căldură (sau altă formă de energie), ar constitui un *perpetuum mobile de prima speță.* Primul principiu al termodinamicii arată că *nu se poate construi o mașină care să se miște continuu, fără să consume energie.* Deci nu poate exista un *perpetuum mobile* de prima speță.

Al doilea principiu al termodinamicii arată că *nu se poate construi un motor termic în care toată căldura absorbită de la un izvor de căldură să fie transformată în lucru mecanic.*

Scanned with OKEN Scanner

Cu alte cuvinte, *nu poate exista un motor termic numai cu un singur izvor de căldură*, deoarece nu s-ar putea produce trecerea căldurii de la o temperatură mai ridicată la alta mai coborîtă, care să facă posibilă transformarea căldurii în lucru mecanic. Un asemenea motor, în care întreaga cantitate de căldură absorbită s-ar transforma integral în lucru mecanic, ar constitui un *perpetuum mobile de speța a doua*. Al doilea principiu al termodinamicii arată că nu poate exista un *perpetuum mobile* de speța a doua.

156. **Turbina cu abur.** De la roata de apă, cu palete, cunoscută de multă vreme, s-a născut ideea construirii unei roți care să fie mișcată de forța aburului. Prima încercare de a construi o turbină cu abur este construirea globului cu reacție al lui Heron din Alexandria, cu 120 de ani î.e.n. (fig. 171). Cazanul sferic are două țevi curbate, din care iese aburul. Acesta produce forțele de reacție, care rotesc globul în sens opus ieșirii aburului. Prin urmare, globul lui Heron reprezintă primul tip de turbină cu reacție.

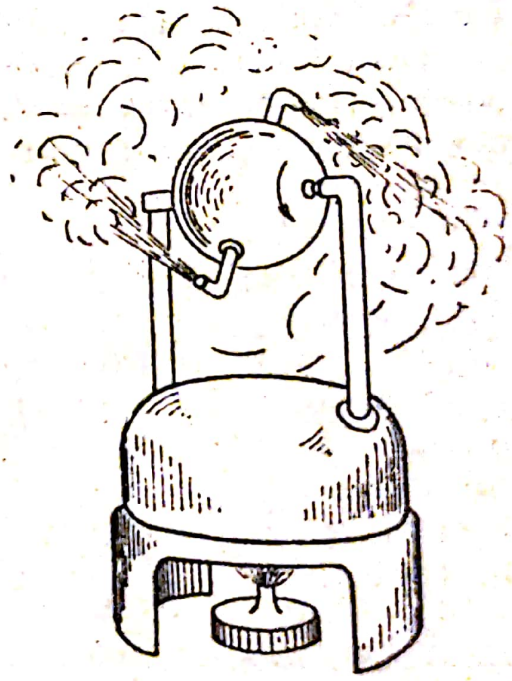

Fig. 171. — Globul lui Heron.

De asemenea, încă de multă vreme, învățații s-au gîndit să realizeze o roată cu palete care să fie mișcată prin acțiunea aburului asupra paletelor roții.

Totuși, din cauza condițiilor grele de lucru (temperatură, coroziune, turație mare) ale turbinei, dezvoltarea tehnicii nu a permis decît tîrziu să se construiască turbinele cu abur, așa cum le vedem astăzi. Primele turbine cu abur cu aplicație practică datează abia de la sfîrșitul secolului al XIX-lea.

Prin introducerea a numeroase perfecționări în construcția turbinelor și prin aplicarea tuturor realizărilor termotehnicii, turbinele cu abur au atins în prezent un înalt grad de perfecționare, ele fiind în prezent cele mai puternice motoare termice (50 000—200 000 kW).

Din punct de vedere termodinamic nu există o deosebire esențială între turbina cu abur și mașina cu abur cu piston. La ambele mașini, lucrul mecanic se datorează

Scanned with OKEN Scanner

căldurii aburului care intră în mașină; în ambele cazuri, lucrul mecanic este o urmare a destinderii aburului. Destinderea aburului, adică creșterea volumului lui, se face o dată cu descreșterea presiunii și scăderea conținutului lui de căldură.

Totuși, între turbină și mașina cu piston există o diferență esențială: la mașina cu abur cu piston, lucrul mecanic este efectuat direct de presiunea aburilor; la turbină lucrul mecanic este efectuat de energia lor cinetică.

Turbinele sînt de trei feluri:

— turbine cu acțiune;

— turbine cu reacțiune;

— turbine mixte.

157. Principiul de funcționare a turbinei cu acțiune. Introducînd aburul într-un tub de formă specială denumit **ajutaj** (fig. 172), aburul iese cu o viteză foarte mare. Prin izbirea jetului de abur de platanul unui dinamometru, el își modifică direcția și dă naștere unei forțe care apasă platanul în jos, ceea ce se poate observa prin deviația acului de pe cadranul gradat. În figura 173 se vede că

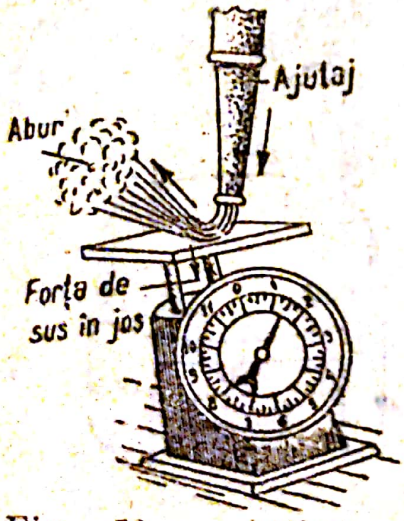

Fig. 172. — Acțiunea jetului de abur asupra unei palete.

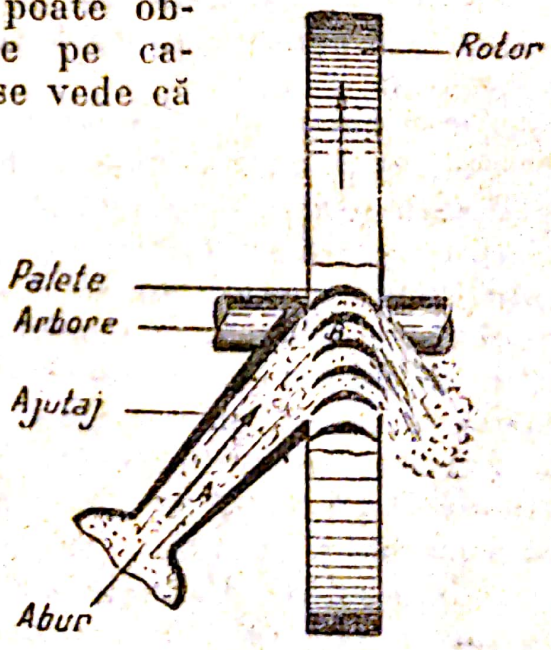

Fig. 173. — Principiul turbinei cu acțiune.

aburul iese din ajutajul *(A)* cu o viteză foarte mare și izbește paletele *(B)* ale roții turbinei, ieșind apoi prin partea cealaltă. Roata turbinei capătă o mișcare de rotație în sensul săgeții. *Distanța dintre paletele turbinei cu acțiune este constantă.* Viteza cu care se învîrtește roata turbinei este de 3 000 de rotații pe minut.

Scanned with OKEN Scanner

La turbine, aburii acționează roata mobilă, **rotorul**, în virtutea energiei lor cinetice $\frac{mv^2}{2}$. De aceea este necesar ca turbina să aibă un organ special, în care aburul să poată căpăta viteza v, organ care trebuie să fie așezat în fața rotorului. Acest organ este constituit din unul sau cîteva ajutaje izolate (fig. 174) sau dintr-o serie de ajutaje tot fixe, dar așezate unul lîngă altul, în dreptul periferiei roții cu palete, constituind *statorul* sau *distribuitorul*.

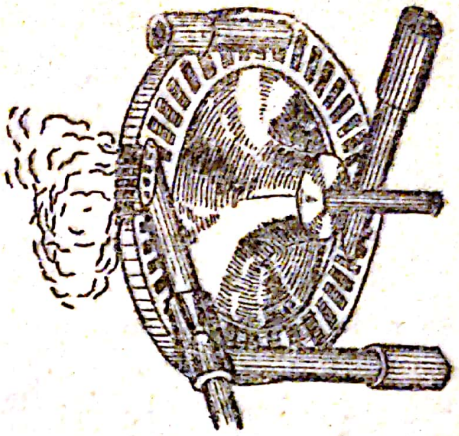

Fig. 174. — Ajutaje izolate.

158. **Domeniile de utilizare a turbinelor cu abur.** Turbinele cu abur se utilizează mai ales pentru acționarea mașinilor rapide: generatoare electrice, turbocompresoare, pompe centrifuge etc.

În domeniul instalațiilor mari, turbina cu abur tinde să înlocuiască toate celelalte mașini termice, din cauza

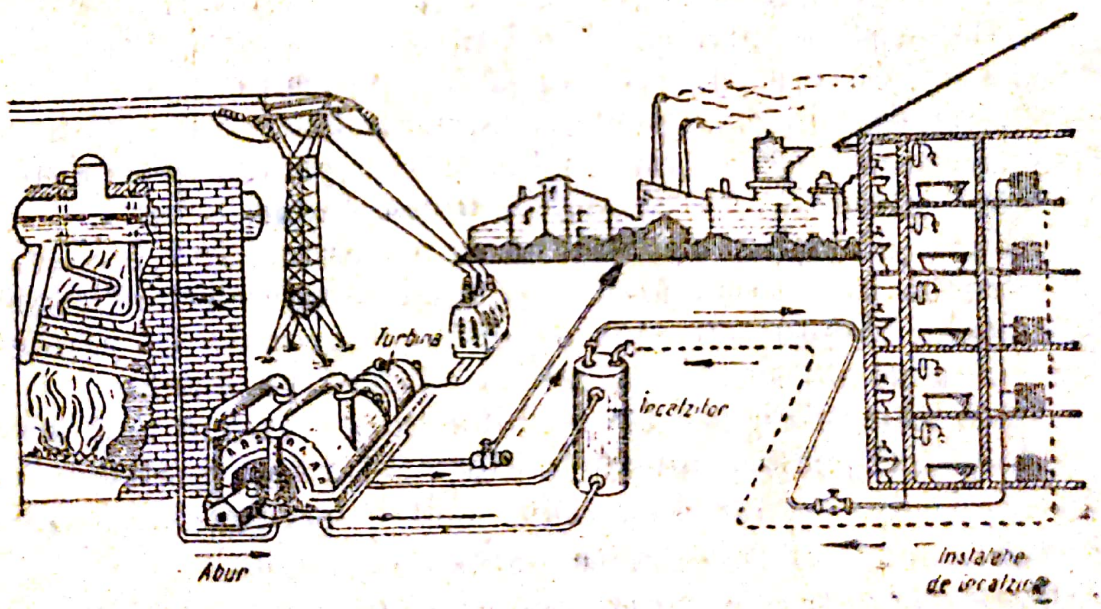

Fig. 175. — Schema unei centrale electrice cu turbine de abur cu termoficare.

posibilității de a obține puteri foarte mari într-un singur agregat (s-au construit turbine cu puteri între 50 000 și 200 000 kW). În figura 175 se dă o schemă a unei centrale electrice cu turbine cu abur.

Scanned with OKEN Scanner

Aburul produs în partea de sus a cazanului iese pe conducte, trece prin supraîncălzitor, unde primește încă o cantitate de căldură și își mărește presiunea și temperatura. În U.R.S.S. s-a construit un agregat, în care aburul lucrează la 300 at și 600°C. Aburul supraîncălzit intră în turbină, unde se destinde în mai multe trepte, ieșind apoi în condensator cu o presiune joasă. În condensator aburul este răcit și se condensează. Pe arborele turbinei este cuplat generatorul electric al centralei care produce energia electrică.

De la condensator apa e împinsă înapoi în cazan cu ajutorul unor pompe. Așadar, într-o centrală termoelectrică cu condensație, se realizează un circuit închis apă-abur: în cazan apa se transformă continuu în abur, iar în condensator aburul se transformă în apă. În același timp, energia termică a aburului se transformă în energie mecanică în turbină și în energie electrică în generatorul electric. Aceste transformări stau la baza funcționării centralei termoelectrice.

159. **Termoficare.** În afară de *centralele de condensație* se mai construiesc *centrale electrice de termoficare*. În aceste centrale se poate utiliza aburul în mod rațional, nu numai pentru acționarea turbinei, ci și în alte scopuri.

Utilizarea aburului pentru scopuri industriale se numește *termoficare industrială*, iar utilizarea lui pentru alimentarea orașelor muncitorești constituie *termoficarea urbană*.

Aburul, la ieșirea din turbină, la o presiune de 1,2—2,5at, este trecut într-un încălzitor și apoi merge să încălzească locuințele. Conductele sînt de obicei îngropate în pămînt, pentru ca să nu se piardă multă căldură pe drum.

Dacă aburul e scos din turbină la o presiune mai mare (5—15 at), el poate fi folosit în fabrici și uzine, pentru acționarea ciocanelor cu abur sau pentru produs vaporizări, fierberi, distilări în diferite industrii chimice.

Pe cînd centralele cu condensator de abur au randament relativ mic, 20—30%, pentru că nu toată căldura consumată este folosită, centralele cu termoficare au randament mult mai mare și sînt mult mai economice. Randamentul lor poate ajunge pînă la 50—60% și chiar mai mult.

Uniunea Sovietică este în fruntea țărilor care folosesc pe scară largă termoficarea. Chiar termenul de „termoficare“ a fost consacrat prin literatura de specialitate sovietică.

Scanned with OKEN Scanner

În țara noastră primele centrale electrice au fost acționate de mașini cu abur cu piston la: Timișoara, Craiova, Arad, București. În 1912 s-au pus în funcțiune primele două turbine cu abur la Grozăvești, de cîte 1 000 kW fiecare.

Goana după profit a grupurilor de capitaliști, concurenți între ei, a făcut ca să nu existe o preocupare de a lărgi rețelele electrice, decît în măsura intereselor lor.

Îndată după eliberarea patriei noastre, partidul a înscris ca obiectiv important electrificarea țării, pentru a putea face față dezvoltării socialiste a țării.

În anii 1952—1954 au intrat în funcțiune termocentralele cu turbine cu abur de la Doicești (abur la 64 at și 480°C), Ovidiu II, Comănești II (abur la 32 at și 420°C).

Centrala de la Doicești are 6 turbine de 20 000 kW fiecare și este alimentată cu lignit, păcură și gaze. Ea alimentează orașul București și instalațiile de foraj din regiunea petroliferă dintre Buzău și Argeș.

Centrala Ovidiu II folosește cărbune de la minele din Banat și păcură. Are 3 turbine cu abur de cîte 12 000 kW.

Centrala Comănești II consumă cărbune inferior de la minele locale și are turbine de cîte 12 000 kW.

Centrala „Steaua roșie" de la Sîngeorgiu-de-Pădure folosește gaze naturale.

În Valea Jiului, centrala termoelectrică Paroșeni-Petroșeni valorifică deșeurile de cărbune de la Lupeni.

Centrala de termoficare de la Borzești alimentează un grup industrial vecin, precum și orașul muncitoresc Onești, în care distribuie căldură la locuințe.

Directivele Congresului al III-lea al P.M.R. acordă o deosebită atenție dezvoltării termoficării. Peste 50% din puterea ce se va instala în centralele termoelectrice va fi bazată pe termoficare, ceea ce va însemna o mare economie de combustibil. De exemplu o termocentrală de condensație avînd 50 000 kW cu randamentul de 27% pierde într-un an în apa de răcire o cantitate de căldură obținută din 12 000 de vagoane de cărbune.

Prin termoficare această cantitate de căldură este recuperată în cea mai mare parte.

În anii puterii populare au luat ființă și alte centrale, de exemplu centrala termoelectrică de la Hunedoara, care folosește gazele rezultate de la cuptoarele înalte și deșeuri de cărbuni.

Scanned with OKEN Scanner

La proiectarea și construirea centralelor electrice, Uniunea Sovietică și țările de democrație populară ne-au ajutat furnizîndu-ne instalații, echipament mecanic și electric.

La centralele electrice s-au introdus pe scară largă tehnica nouă, mecanizarea, automatizarea și telecomanda.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este un motor termic?
2. De ce în motoarele termice lucrează totdeauna un corp gazos?
3. Prin ce se reprezintă în coordonate p—V lucrul mecanic de destindere sau comprimare a gazelor?
4. Care este ciclul de transformări ale aburului într-o mașină cu abur?
5. Care sînt părțile esențiale ale unei mașini cu abur?
6. Să se descrie funcționarea organelor de distribuție a aburului.
7. Prin ce se deosebește randamentul teoretic de cel industrial?
8. Ce importanță practică are concluzia lui Carnot asupra randamentului teoretic al unei mașini termice?
9. Care este importanța teoretică a principiului lui Carnot?
10. Să se facă o comparație între mașina cu abur cu piston și turbina cu abur.
11. În ce constă termoficarea și ce foloase prezintă?
12. Care sînt termocentralele construite în anii regimului democrat-popular?

PROBLEME

1. Presiunea vaporilor în cilindrul unei mașini cu abur este de 12 at. Pistonul are suprafața de 300 cm², iar lungimea unei curse a pistonului este de 50 cm. Cîte calorii cedează vaporii de apă într-o cursă a pistonului?

Răspuns: 4,22 kcal.

2. O locomotivă are puterea de 3 000 CP, și consumă 3 800 kg de combustibil convențional pe o distanță de 155 km, mergînd cu 72 km/h.

Care este randamentul locomotivei dacă pierderile prin frecare sînt de 1%?

Răspuns: 15,2%.

3. O locomotivă are puterea medie de 400 CP. Cîți cărbuni consumă în 3 ore, dacă randamentul ei este de 8%?

Răspuns: 1 359 kg.

4. O locomotivă are puterea medie de 700 CP. Pentru ce distanță îi ajunge o rezervă de cărbuni de 5 t, dacă merge cu 36 km/h și are randamentul de 9%?

Răspuns: 255,6 km.

5. Să se calculeze consumul de cărbuni pe oră al unei locomotive de 2 000 CP, știind că în apa din cazan trece numai 60% din căldura dată de cărbuni, iar randamentul teoretic este de 20%. Puterea calorică a cărbunilor este de 4 000 kcal/kg.

Răspuns: 2 640 kg/h.

6. Un motor termic funcționează între temperaturile de 227°C, la cazan, și 57°C, la condensator. Care este randamentul său termic?

Răspuns: 34%.

Scanned with OKEN Scanner

160. **Motorul cu aprindere prin scînteie.** Unul dintre cele mai răspîndite motoare cu ardere internă este motorul cu aprindere prin scînteie. Motorul cu aprindere prin scînteie este utilizat la automobile. El funcţionează în felul următor:

Într-un aparat care face parte din motor, denumit *carburator*, se prepară un amestec de vapori de benzină şi aer. Acest amestec este aspirat într-un cilindru, unde este aprins de către o scînteie electrică (de unde vine şi numele de *motor cu aprindere prin scînteie*). Vaporii de benzină ard. Se produce căldură, care ridică presiunea gazelor rezultate din ardere. Gazele apasă cu această presiune indicată asupra unui piston, care astfel se mişcă. La piston este legată o *bielă* şi de bielă o *manivelă*, prin care mişcarea rectilinie alternativă a pistonului este transformată în mişcare circulară continuă.

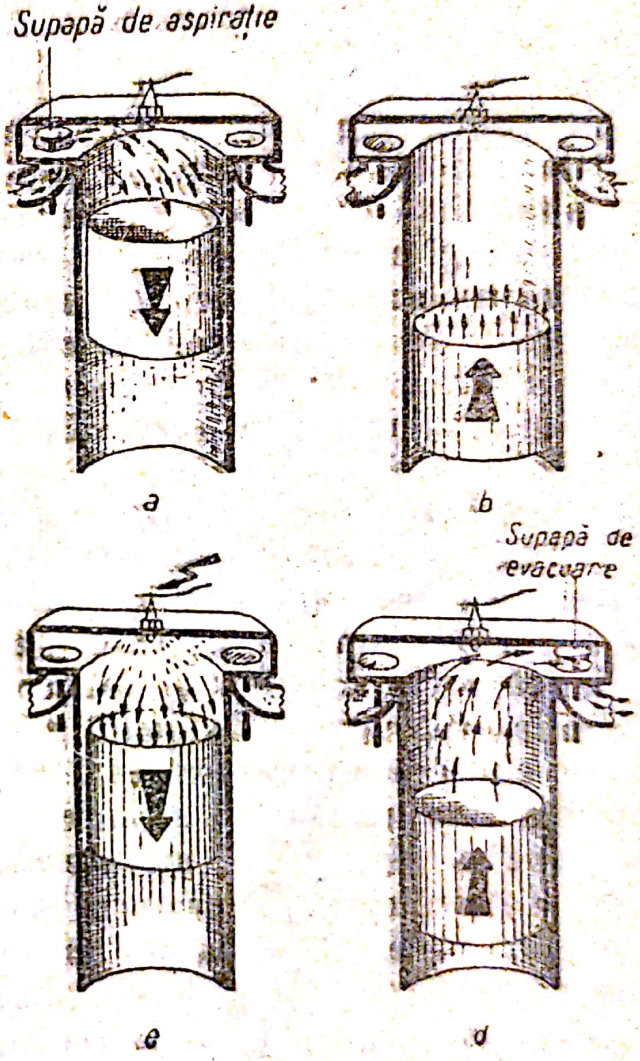

Fig. 176. — Cei 4 timpi de funcţionare a motorului.

În mişcarea lui următoare, în sens invers, pistonul dă afară din cilindru gazele arse, după care se aspiră în cilindru o nouă cantitate de amestec de vapori de benzină cu aer şi ciclul se repetă aşa cum s-a arătat.

Ansamblul acesta de transformări ale gazului formează un *ciclu*. Ciclul este format din *timpi*. Un timp reprezintă transformările gazului (de presiune, volum, temperatură) corespunzătoare unei deplasări a pistonului de la un cap la altul al cilindrului, între *punctul mort interior* şi *punctul mort exterior* (fig. 176). Denumirea de punct mort se dă pentru poziţiile extreme ale

160. **Motorul cu aprindere prin scînteie.** Unul dintre cele mai răspîndite motoare cu ardere internă este motorul cu aprindere prin scînteie. Motorul cu aprindere prin scînteie este utilizat la automobile. El funcționează în felul următor:

Într-un aparat care face parte din motor, denumit *carburator*, se prepară un amestec de vapori de benzină și aer. Acest amestec este aspirat într-un cilindru, unde este aprins de către o scînteie electrică (de unde vine și numele de *motor cu aprindere prin scînteie*). Vaporii de benzină ard. Se produce căldură, care ridică presiunea gazelor rezultate din ardere. Gazele apasă cu această presiune ridicată asupra unui piston, care astfel se mișcă. La piston este legată o *bielă* și de bielă o *manivelă*, prin care mișcarea rectilinie alternativă a pistonului este transformată în mișcare circulară continuă.

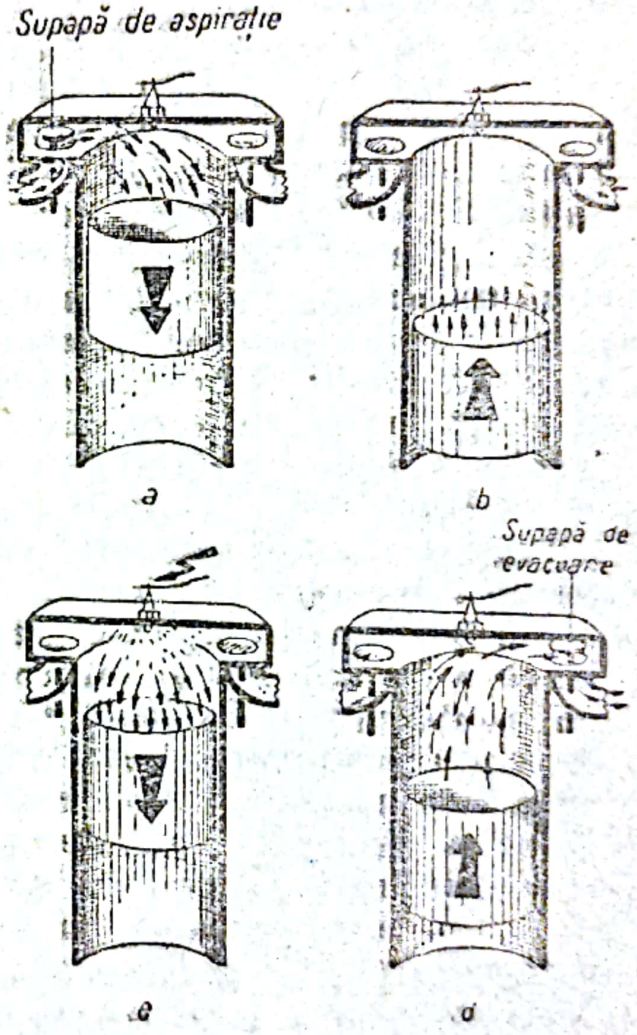

Fig. 176. — Cei 4 timpi de funcționare a motorului.

În mișcarea lui următoare, în sens invers, pistonul dă afară din cilindru gazele arse, după care se aspiră în cilindru o nouă cantitate de amestec de vapori de benzină cu aer și ciclul se repetă așa cum s-a arătat.

Ansamblul acesta de transformări ale gazului formează un **ciclu**. Ciclul este format din **timpi**. Un timp reprezintă transformările gazului (de presiune, volum, temperatură) corespunzătoare unei deplasări a pistonului de la un cap la altul al cilindrului, între *punctul mort interior* și *punctul mort exterior* (fig. 176). Denumirea de punct mort se dă pentru pozițiile extreme ale

pistonului în cilindru, cînd biela și manivela se află în linie dreaptă (în prelungire).

După ce s-a arătat, în principiu, cum funcționează un motor cu aprindere prin scînteie, să vedem mai în detaliu cum funcționează un motor de acest fel, în 4 timpi.

T i m p u l 1 — a s p i r a ț i a. Pistonul coboară în cilindru (fig. 176, *a*). Se deschide supapa din stînga figurii (supapa de aspirație), pe măsură ce pistonul se deplasează în jos. În cilindru se formează o depresiune și amestecul carburant (format din vapori de benzină și aer) este aspirat în cilindru. Aspirația se face tot timpul cît se deplasează pistonul în cilindru de la punctul mort interior pînă la punctul mort exterior.

T i m p u l 2 — c o m p r e s i u n e a. Ambele supape sînt închise (fig. 176, *b*). Pistonul se deplasează în cilindru de la punctul mort exterior pînă la punctul mort interior și comprimă amestecul carburant pînă la o presiune de circa 7 kgf/cm². Prin această compresiune, amestecul carburant se încălzește, ceea ce ajută la aprinderea și arderea vaporilor de benzină care urmează în timpul următor.

T i m p u l 3 — a r d e r e a ș i d e t e n t a. Acesta este timpul motor în care căldura se transformă în lucru mecanic. Ambele supape sînt închise (fig. 176, *c*). La sfîrșitul compresiunii, se produce o scînteie electrică între electrozii unei *bujii* (curentul electric este furnizat de o baterie de acumulatoare electrice sau de un dinam). Scînteia aprinde amestecul, care arde. Arderea este o reacție chimică între benzină și oxigen, cu degajare de căldură (reacție *exotermică*). Oxigenul necesar arderii este luat din aerul cu care sînt amestecați vaporii de benzină. Pentru aceasta este necesar să se introducă în cilindru nu vapori de benzină singuri, ci amestecați cu aer într-o proporție bine determinată. Amestecul acesta — denumit amestec carburant — este preparat automat într-un aparat care face parte din motor și care se numește **carburator.**

Aprinderea nu se face deodată în toată masa amestecului, ci se transmite de la strat la strat. Este o *ardere progresivă*. Altfel s-ar produce o explozie puternică și organele motorului ar fi distruse. Deci, nu se produce o explozie, ci o ardere progresivă, și de aceea este greșită denumirea acestor motoare de „motoare cu explozie", care se mai întîlnește în unele cărți.

După cum s-a mai arătat, din reacția benzinei cu oxigenul se degajă și căldură. Temperatura gazelor la sfîrșitul

arderii este de aproximativ 2 000°C, iar presiunea de 25—27 kgf/cm². Gazele apasă cu putere pe toată fața pistonului și-l împing cu putere în jos. Volumul gazelor se mărește pe măsură ce pistonul se deplasează în jos și presiunea scade. Gazele se destind. Cînd pistonul a ajuns aproape de punctul mort exterior, se deschide supapa a doua — *de evacuare* — și presiunea gazelor scade brusc.

T i m p u l 4—e v a c u a r e a. Supapa de evacuare este deschisă și comunică cu exteriorul (fig. 176, *d*). Pistonul se deplasează de jos în sus și împinge afară din cilindru gazele arse. La capătul cursei pistonului, timpul 4 se termină și cilindrul este gata să reînceapă ciclul cu aspirația gazelor proaspete (timpul 1).

Din cei 4 timpi de funcționare a motorului (1 — aspirația, 2 — compresiunea, 3 — arderea și detenta, 4 — evacuarea), numai unul (timpul 3) este *timp motor*, adică *produce* **lucru mecanic.** Ceilalți consumă lucru mecanic din lucrul mecanic produs. Pentru aceasta, este necesar pe de o parte să se „acumuleze" o parte din energia mecanică produsă la timpul 3, care să fie redată celorlalți timpi, și pe de altă parte să se uniformizeze mersul motorului, adică arborele-motor învîrtit de bielă și manivelă să se învîrtească uniform, nu cu smucituri. De aceea, la arborele-motor se montează o roată mai grea — *volantul* — care îndeplinește acest rol. Din cauza masei mari pe care o are, volantul înmagazinează o parte din energia mecanică produsă la timpul 3 și o redă arborelui motor la ceilalți timpi, uniformizînd mersul.

161. **Motorul cu mai mulți cilindri.** Pentru a se asigura un mers cît mai lin al motorului la automobile, motorul are mai mulți cilindri (fig. 177), care se ajută între ei, adică timpul motor nu se efectuează în același moment la toți cilindrii, ci pe rînd. De exemplu, la un motor de 4 cilindri, la un moment dat, în primul cilindru se face aspirația, în al 2-lea cilindru — compresiunea, în al 3-lea — evacuarea și în al 4-lea cilindru — detenta (timpul motor). La fiecare

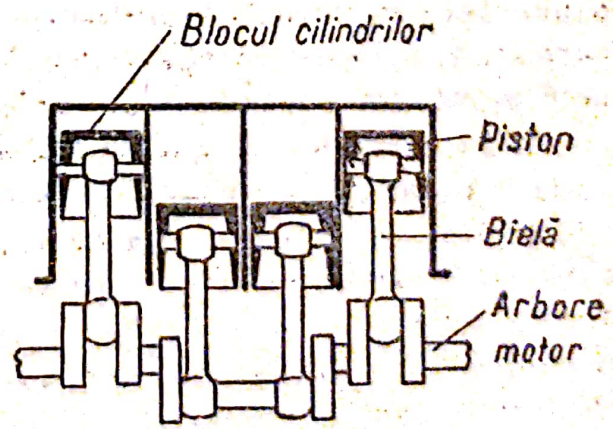

Fig. 177. — Motorul cu mai mulți cilindri.

cilindru, ciclul se desfășoară așa cum s-a arătat. La motoarele cu mai mulți cilindri, volantul are dimensiuni mai mici.

În afară de cilindri, biele, arborele motor, volant, motorul este prevăzut cu multe alte organe care-i asigură funcționarea. Astfel sînt: organe de alimentare cu benzină (rezervor, pompă, filtre, carburator, conducte); organe de distribuție a amestecului carburant (supapă, împingătoare de supapă, arbore cu came care ridică împingătoarele de supapă—fig. 178 și 179); organe ale sistemului de aprindere (acumulator,

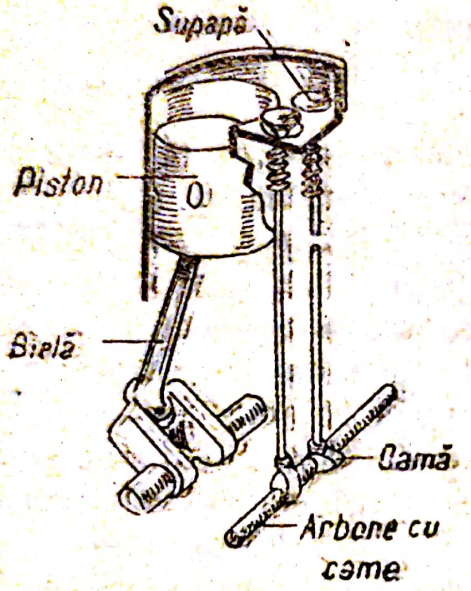

Fig. 178. — Organe ale cilindrului cu piston.

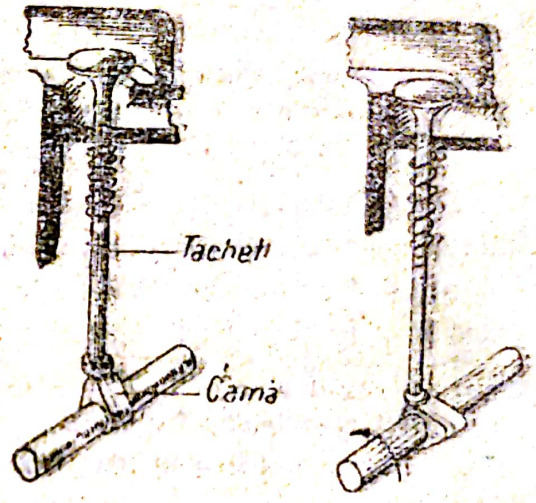

Fig. 179. — Acționarea supapelor prin came.

dinam, regulatoare, bobină de transformare a curentului, conductoare, bujie—în care se produce scînteia); organe de ungere, pentru ca piesele în frecare să se poată mișca ușor; organe de răcire—pentru ca dilatarea pieselor să nu fie prea mare, la temperaturile înalte produse în timpul arderii; organe de comandă și control (manometre, termometre, aparate de măsurarea nivelului benzinei în rezervor, ampermetru etc.). Toate aceste organe la un loc formează ansamble de mecanisme care lucrează împreună și, dacă unul din ele nu funcționează în bune condiții, întregul motor va funcționa prost sau se va opri.

162. **Motoare cu aprindere prin compresiune. Istoric.** Prin anul 1878, printre studenții care audiau cursul de termodinamică, ținut de celebrul fizician prof. Linde, se afla și tînărul Rudolf Diesel, care în curînd urma să-și ia diploma de inginer. Încă de pe băncile școlii era preocupat să inventeze un motor termic a cărui funcționare să se apropie de ciclul lui Carnot, despre care învățase că este ciclul cu maximum de randament.

În anul 1892, inginerul R. Diesel proiecta un motor care urma să funcționeze cu praf de cărbune.

cilindru, ciclul se desfășoară așa cum s-a arătat. La motoarele cu mai mulți cilindri, volantul are dimensiuni mai mici.

În afară de cilindri, biele, arborele motor, volant, motorul este prevăzut cu multe alte organe care-i asigură funcționarea. Astfel sînt: organe de alimentare cu benzină (rezervor, pompă, filtre, carburator, conducte); organe de distribuție a amestecului carburant (supapă, împingătoare de supapă, arbore cu came care ridică împingătoarele de supapă—fig. 178 și 179); organe ale sistemului de aprindere (acumulator,

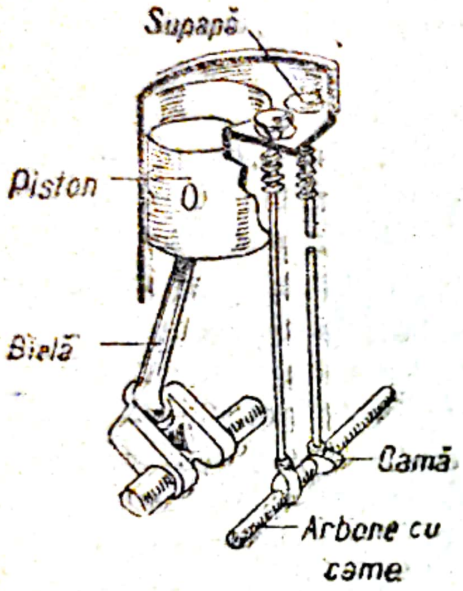

Fig. 178. — Organe ale cilindrului cu piston.

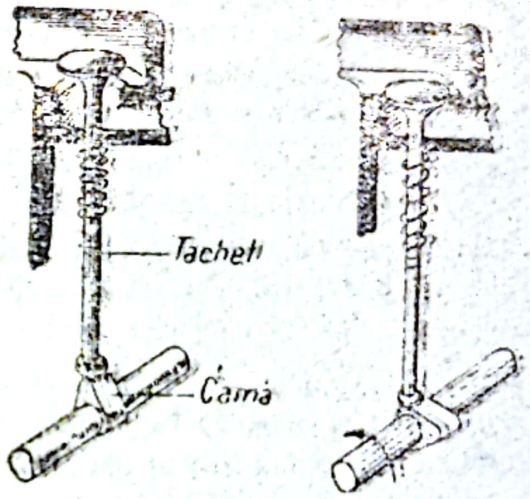

Fig. 179. — Acționarea supapelor prin came.

dinam, regulatoare, bobină de transformare a curentului, conductoare, bujie—în care se produce scînteia); organe de ungere, pentru ca piesele în frecare să se poată mișca ușor; organe de răcire—pentru ca dilatarea pieselor să nu fie prea mare, la temperaturile înalte produse în timpul arderii; organe de comandă și control (manometre, termometre, aparate de măsurarea nivelului benzinei în rezervor, ampermetru etc.). Toate aceste organe la un loc formează ansamble de mecanisme care lucrează împreună și, dacă unul din ele nu funcționează în bune condiții, întregul motor va funcționa prost sau se va opri.

162. Motoare cu aprindere prin compresiune. Istoric. Prin anul 1878, printre studenții care audiau cursul de termodinamică, ținut de celebrul fizician prof. Linde, se afla și tînărul Rudolf Diesel, care în curînd urma să-și ia diploma de inginer. Încă de pe băncile școlii era preocupat să inventeze un motor termic a cărui funcționare să se apropie de ciclul lui Carnot, despre care învățase că este ciclul cu maximum de randament.

În anul 1892, inginerul R. Diesel proiecta un motor care urma să funcționeze cu praf de cărbune.

În acest motor se aspira aer, care apoi urma să fie comprimat în cilindru pînă la o presiune destul de ridicată. Prin aceasta, temperatura aerului se mărea foarte mult (600—800°C). Se injecta praf de cărbune în acest aer supraîncălzit și cărbunele se aprindea. Diesel credea că, în tot timpul arderii, nu se va produce nici o creștere a temperaturii (ardere izotermă), deoarece pe măsură ce se injectează praf de cărbune, pistonul se deplasează (aprox. 10% din cursa pistonului) și deci volumul se mărește. De asemenea, se credea că, în timpul detentei, gazele rezultate din ardere nu absorb și nu cedează căldură la exterior, toată căldura transformîndu-se în lucru mecanic (transformarea adiabatică). Dacă nu cedează căldura în exterior, înseamnă că pereții cilindrului nu se încălzesc. Prin urmare, nu au nevoie de răcire, așa cum era la toate motoarele.

S-a construit un motor după aceste indicații, însă nu a funcționat niciodată. Chiar de la pornire, motorul a fost distrus de explozia produsă în interiorul cilindrului. Însuși Diesel și-a dat seama că, așa cum era conceput, motorul nu putea să funcționeze. El părăsește ideea folosirii prafului de cărbune, precum și alte particularități ale ciclului de funcționare care s-au dovedit că nu pot fi realizate și și-a îndreptat cercetările către un combustibil lichid mai ieftin decît benzina, păstrînd ideea principală a ciclului său. La început s-a gîndit la petrolul lampant, care se ieftinise datorită faptului că apăruse și se dezvolta cu repeziciune iluminatul electric. A utilizat însă motorina care era și mai ieftină (un produs obținut de la distilarea țițeiului). După o muncă grea și perseverentă, între anii 1893 și 1897, inginerul Rudolf Diesel reușește să pună la punct primul motor care funcționează după un ciclu cu totul diferit de cel al motoarelor cu aprindere prin scînteie, avînd un randament mult mai mare.

163. **Principiul motorului cu aprindere prin compresiune.** Principiul de funcționare al unui motor Diesel (cu aprindere prin compresiune) în 4 timpi este următorul:

T i m p u l 1—a s p i r a ț i a (fig. 180, *a*). În cilindru se aspiră *aer curat* din atmosferă prin deplasarea pistonului de la punctul mort interior. Aerul pătrunde în cilindru prin supapa de aspirație, care este deschisă pe toată durata timpului 1.

T i m p u l 2—c o m p r e s i u n e a (fig. 180, *b*). Pistonul se deplasează de la punctul mort exterior spre punctul mort interior, comprimînd aerul (ambele supape sînt închise). Comprimarea aerului se face în acest motor mult mai mult decît la cel cu aprindere prin scînteie. La sfîrșitul compresiunii, cînd pistonul a ajuns la punctul mort interior, rămîne deasupra pistonului în cilindru un spațiu (camera de ardere) foarte mic. Din cauza acestei compresiuni ridicate (35—50 kgf/cm^2), aerul se încălzește foarte mult, atingînd 700—800°C, la sfîrșitul compresiunii.

T i m p u l 3—a r d e r e a ș i d e t e n t a (fig. 180,*c*). Printr-un *injector* se introduce motorină foarte fin

În acest motor se aspira aer, care apoi urma să fie comprimat în cilindru pînă la o presiune destul de ridicată. Prin aceasta, temperatura aerului se mărea foarte mult (600—800°C). Se injecta praf de cărbune în acest aer supraîncălzit și cărbunele se aprindea. Diesel credea că, în tot timpul arderii, nu se va produce nici o creștere a temperaturii (ardere izotermă), deoarece pe măsură ce se injectează praf de cărbune, pistonul se deplasează (aprox. 10% din cursa pistonului) și deci volumul se mărește. De asemenea, se credea că, în timpul detentei, gazele rezultate din ardere nu absorb și nu cedează căldură la exterior, toată căldura transformîndu-se în lucru mecanic (transformarea adiabatică). Dacă nu cedează căldura în exterior, înseamnă că pereții cilindrului nu se încălzesc. Prin urmare, nu au nevoie de răcire, așa cum era la toate motoarele.

S-a construit un motor după aceste indicații, însă nu a funcționat niciodată. Chiar de la pornire, motorul a fost distrus de explozia produsă în interiorul cilindrului. Însuși Diesel și-a dat seama că, așa cum era conceput, motorul nu putea să funcționeze. El părăsește ideea folosirii prafului de cărbune, precum și alte particularități ale ciclului de funcționare care s-au dovedit că nu pot fi realizate și și-a îndreptat cercetările către un combustibil lichid mai ieftin decît benzina, păstrînd ideea principală a ciclului său. La început s-a gîndit la petrolul lampant, care se ieftinise datorită faptului că apăruse și se dezvolta cu repeziciune iluminatul electric. A utilizat însă motorina care era și mai ieftină (un produs obținut de la distilarea țițeiului). După o muncă grea și perseverentă, între anii 1893 și 1897, inginerul Rudolf Diesel reușește să pună la punct primul motor care funcționează după un ciclu cu totul diferit de cel al motoarelor cu aprindere prin scînteie, avînd un randament mult mai mare.

163. **Principiul motorului cu aprindere prin compresiune.** Principiul de funcționare al unui motor Diesel (cu aprindere prin compresiune) în 4 timpi este următorul:

T i m p u l 1—a s p i r a ț i a (fig. 180, *a*). În cilindru se aspiră *aer curat* din atmosferă prin deplasarea pistonului de la punctul mort interior. Aerul pătrunde în cilindru prin supapa de aspirație, care este deschisă pe toată durata timpului 1.

T i m p u l 2—c o m p r e s i u n e a (fig. 180, *b*). Pistonul se deplasează de la punctul mort exterior spre punctul mort interior, comprimînd aerul (ambele supape sînt închise). Comprimarea aerului se face în acest motor mult mai mult decît la cel cu aprindere prin scînteie. La sfîrșitul compresiunii, cînd pistonul a ajuns la punctul mort interior, rămîne deasupra pistonului în cilindru un spațiu (camera de ardere) foarte mic. Din cauza acestei compresiuni ridicate (35—50 kgf/cm^2), aerul se încălzește foarte mult, atingînd 700—800°C, la sfîrșitul compresiunii.

T i m p u l 3—a r d e r e a ș i d e t e n t a (fig. 180,*c*). Printr-un *injector* se introduce motorină foarte fin

pulverizată. Pentru aceasta există o pompă specială de *injecție*, care trimite motorina la injector, cu mare presiune. Datorită formei speciale a injectorului, care are un *ajutaj* (orificiu foarte mic de formă specială), motorina iese pulverizată în picături extrem de mici (ca o ceață). Pe măsură ce intră în aerul comprimat încălzit la 700°C, fiecare picătură se încălzește, se aprinde și arde. Deci, aprinderea combustibilului (motorina) nu se face în acest motor de la vreo scînteie (așa cum este la motorul descris anterior), ci prin simpla pătrundere a picăturilor în aerul încălzit prin comprimare. De aici vine și numele acestor motoare: *cu aprindere prin compresiune*.

Prin ardere se produce o mare cantitate de gaze și se degajează căldură. Căldura mărește presiunea gazelor, care apasă pe suprafața pistonului, punîndu-l în mișcare. Energia termică se transformă în energie mecanică. Timpul 3 este timp motor.

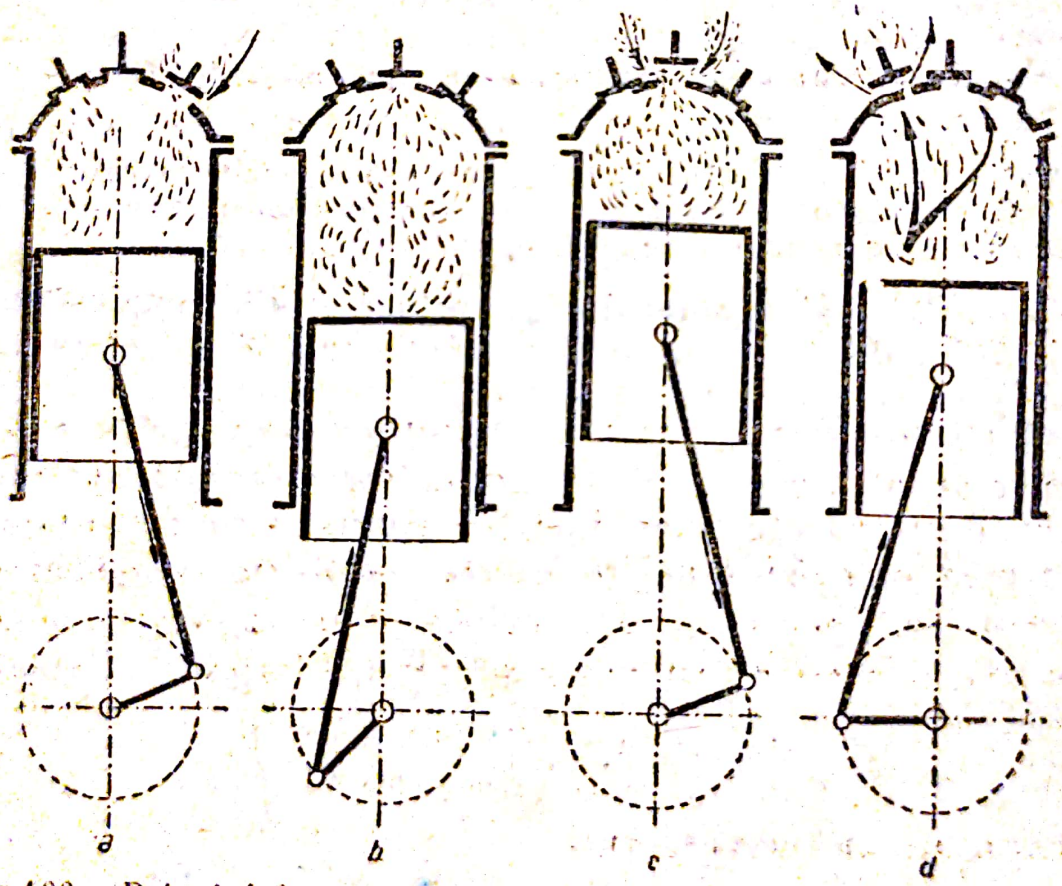

Fig. 180.—Principiul motorului cu aprindere prin compresiune (Diesel).

T i m p u l 4—e v a c u a r e a (fig. 180, *d*). Pistonul se ridică în cilindru de la punctul mort exterior la punctul mort interior. Se deschide supapa de evacuare și gazele provenite din ardere sînt evacuate în afara cilindrului.

Scanned with OKEN Scanner

Ciclul reîncepe apoi, cu aspirația aerului proaspăt. Motorul cu aprindere prin compresiune (Diesel) are un randament mult mai mare decît motoarele cu aprindere prin scînteie. Este însă ceva mai greu.

Se utilizează ca motor stabil (în centralele electrice) cu puteri destul de mari (5 000—10 000 kW), precum și ca motoare de putere mai mică pe motonave, locomotive, automotoare, autocamioane, iar în ultimul timp și la autoturisme, tinzînd să înlocuiască motoarele cu aprindere prin scînteie. Acestea din urmă vor continua să fie utilizate ca motoare rapide de putere mică și foarte mică. Această vastă utilizare se explică prin faptul că motoarele cu aprindere prin compresiune folosesc un combustibil mult mai ieftin decît benzina, combustibil care nu este periculos ca benzina (la depozitare, transport și manipulare) și pentru că au un randament mult mai mare, așa cum s-a mai arătat.

Construcția de mașini termice în țara noastră. În trecut în țara noastră industria era puțin dezvoltată, iar industria constructoare de mașini lipsea aproape cu desăvîrșire. În anii puterii populare, industria constructoare de mașini a crescut într-un ritm vertiginos. Astfel, s-au creat condițiile pentru înzestrarea cu tehnica nouă a tuturor ramurilor economiei naționale și în plus exportăm unele mașini și utilaje.

Progresul uriaș realizat de industria constructoare de mașini în țara noastră în anii puterii populare a fost posibil datorită înfăptuirii liniei P.M.R. cu privire la dezvoltarea cu precădere a industriei grele și în primul rînd a industriei constructoare de mașini prin munca plină de avînt a muncitorilor și folosind experiența și ajutorul frățesc al Uniunii Sovietice.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Să se arate timpii motorului cu aprindere prin scînteie.
2. La ce servește carburatorul?
3. De ce se construiesc motoare cu mai mulți cilindri?
4. Să se facă o comparație între funcționarea motorului cu aprindere prin compresie și cel cu aprindere prin scînteie.
5. Directivele Congresului al III-lea al P.M.R. prevăd înlocuirea locomotivelor cu abur prin locomotive Diesel. De ce?

Scanned with OKEN Scanner

PROBLEME

1. Un motor cu combustie internă consumă 25,3 kg de țiței pe oră, randamentul fiind 25%. Care este puterea lui?

Răspuns: ≈ 105 CP.

2. Cîtă benzină consumă un automobil pentru a străbate 300 km cu viteza de 20 km/h, știind că motorul său are puterea medie de 15 CP și randamentul de 50%?

Răspuns: 25,9 kg.

3. Care este randamentul unui motor Diesel care consumă 0,2 kg de motorină pe oră pentru fiecare cal-putere?

Răspuns: 32%.

4. Într-un motor Diesel combustibilul arde la 1 500°C, iar gazele arse ies la temperatura de 400°C. Care este randamentul său?

Răspuns: 62%.

Un motor termic funcționează între 150°C și 15°C. Să se calculeze cantitatea de căldură primită de la izvorul cald și cedată condensatorului, în timp ce motorul produce 1 kWh.

Răspuns: 2 707,2 kcal; 1 843,2 kcal.

164. **Motoare cu reacție.** Încă de multă vreme s-a născut ideea de a se folosi forța de reacție pentru obținerea unei mișcări.

Principalul domeniu de folosire a motoarelor cu reacție este, în prezent, aviația.

Primele aparate zburătoare propulsate, prin reacție au fost „săgețile chinezești cu foc" (fig. 181).

Acestea erau niște săgeți obișnuite, prevăzute cu cîte un tub închis la un capăt, în care se introducea praf de pușcă. Prin intermediul unui fitil, se aprindea praful de pușcă și săgeata era lansată cu mîna. Gazele rezultate din ardere ieșeau cu mare viteză prin partea liberă a tubului și creau o forță de reacție care împingea tubul cu săgeata în sens invers ieșirii gazelor. Acest sistem constituie o „rachetă", care este un motor cu reacție.

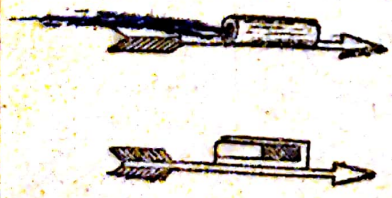

Fig. 181.—Săgeată chinezească cu foc.

Rachetele se utilizează de mult (încă din secolul al IV-lea), sub formă de artificii, la serbări. Rachetele au fost utilizate apoi în războaie. Primele unități militare organizate, înarmate cu rachete, au apărut în India prin secolul al XVIII-lea.

Scanned with OKEN Scanner

În anul 1806, cercetătorul francez Claude Rouger a lansat la Marsilia, pentru prima oară în lume, o rachetă, pe bordul căreia se afla o vietate (un miel). Racheta s-a ridicat la o înălțime de 200 m și apoi mielul a revenit nevătămat la sol cu ajutorul unei parașute.

În Rusia problema rachetelor a fost studiată încă din secolul al XVII-lea. Chiar țarul Petru I se interesa personal de această problemă. Mulți au fost cei care s-au ocupat de rachete și mulți au inventat noi tipuri de rachete: Aleksandr Dmitri Zaseadko, Konstantin Ivanovici Konstantinov, Nikolai Ivanovici Kibalcici și alții.

Printre oamenii de știință care s-au ocupat de problemele propulsiei prin reacție au fost și unii cercetători romîni. Încă prin anul 1885, un cercetător romîn, Ciurcu, a făcut o serie de experiențe cu o ambarcațiie propulsată de rachete. Apoi, în anul 1909, H. Coandă realizează un avion experimental propulsat prin reacție (fig. 182).

Însă motoarele cu reacție s-au dezvoltat rapid abia după 1903, cînd savantul rus Konstantin Eduardovici Țiolkovski a stabilit bazele teoretice ale propulsației prin reacție.

165. **Principiul motorului cu reacție.** Pentru a înțelege mai ușor principiul de funcționare al unui motor cu reacție, să ne închipuim că stăm așezați într-o săniuță care se află

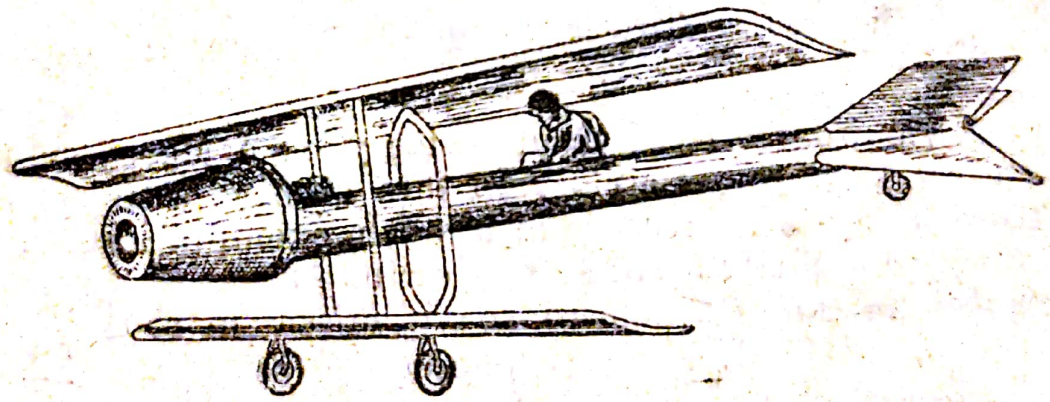

Fig. 182. — Avionul lui H. Coandă propulsat prin reacție.

pe gheață. În săniuță avem cu noi o grămadă de pietroaie. Dacă luăm din grămadă un pietroi și-l azvîrlim cu putere înapoi, și apoi încă unul, și încă unul, atunci săniuța va aluneca înainte, deplasîndu-se cu noi. Sensul în care merge săniuța este invers sensului în care am azvîrlit pietroaiele. La *acțiunea* noastră — forța cu care aruncăm înapoi

pietroaiele — corespunde o reacțiune egală și de sens contrar — forța cu care sîntem împinși înainte.

Putem verifica efectul acțiunii și reacțiunii printr-o experiență simplă. Se ia un cărucior mic și se montează pe el, așa cum se vede în figura 183, o lamă de oțel (de exemplu o bucată dintr-un arc de ceasornic sau de patefon). În acest scop, se fixează pe platforma căruciorului o șipcă transversală. Pentru a putea fixa capetele arcului de această șipcă, trebuie să le decălim (le încălzim la o flacără) apoi le călim din nou. Se fixează, după aceea, arcul de șipcă

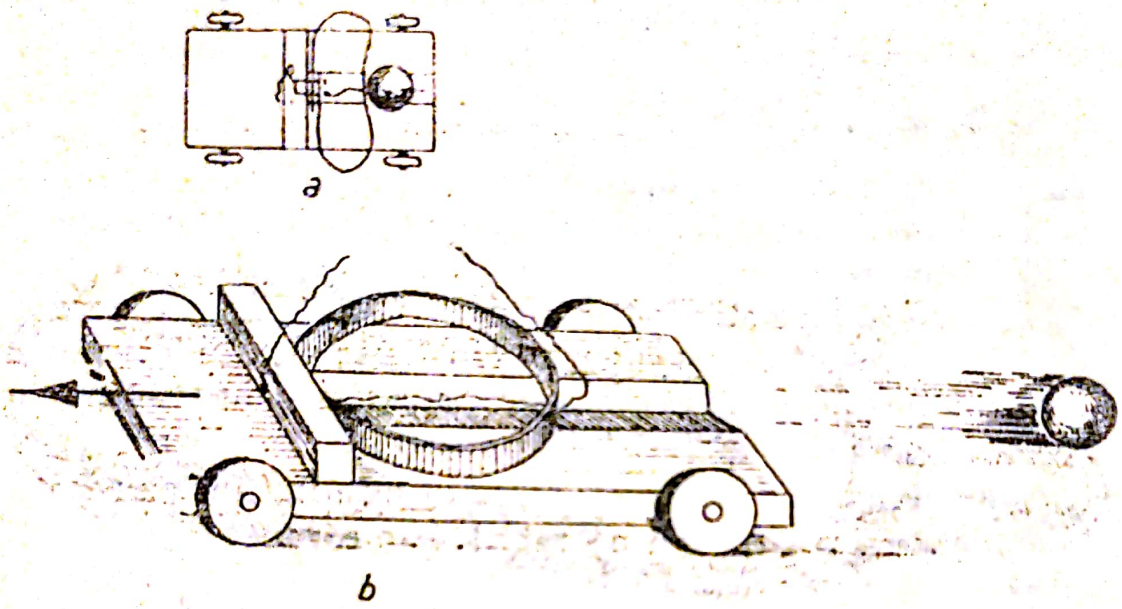

Fig. 183. — Cărucior propulsat prin reacție.

cu cîteva cuișoare. Apoi arcul se leagă cu o sfoară subțire în așa fel încît să fie strîns. În fața arcului astfel strîns, se așază o greutate oarecare (o bilă, de exemplu). Se dă foc sforii cu un chibrit; arcul se va destinde brusc și va zvîrli greutatea înapoi. Căruciorul se va mișca în sens invers.

În motoarele cu reacție, fenomenele se petrec în mod analog, numai că, bineînțeles, nu se vor azvîrli nici pietroaie și nici alte greutăți. Motoarele cu reacție aruncă mase de aer sau de alte gaze.

Cel mai vechi motor cu reacție este racheta.

Motoarele cu reacție se împart în două mari grupe:

— **motoare rachetă,**

— **motoare aeroreactoare.**

Motoarele rachetă transportă cu ele atît combustibilul (care arde), cît și comburantul (oxidantul care întreține

arderea). De aceea, rachetele nu au nevoie de aer pentru funcționare, astfel că pot funcționa chiar și în vid.

La *motoarele aeroreactoare*, comburantul (oxidantul) este oxigenul din aerul care intră în motor, provenind din mediul înconjurător.

Motorul transportă numai combustibil.

Motoarele rachetă sînt de două feluri, după combustibilul folosit, și anume:

— *motoare rachetă cu combustibil solid* (de obicei pulbere fără fum, care conține și combustibil și oxidant);

— *motoare rachetă cu combustibil lichid* (petrol cu oxigen lichid, petrol cu acid azotic etc.).

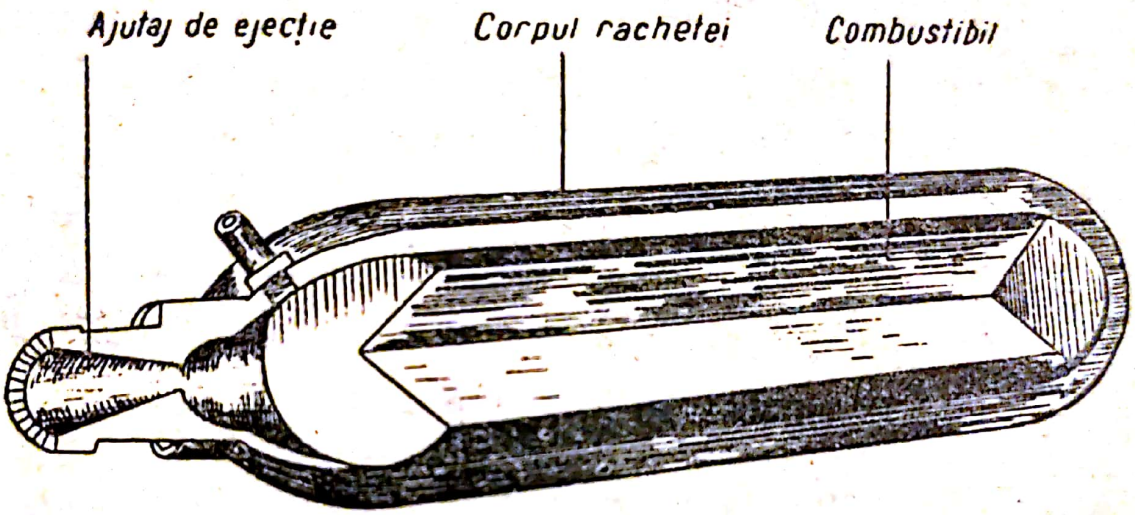

Fig. 184. — Rachetă cu combustibil solid.

166. Tipuri de motoare cu reacție. În figura 184 se arată o *rachetă cu combustibil solid*. Gazele arse sînt evacuate din rachetă cu mare viteză prin ajutajul de ejecție și, prin reacție, dau naștere la o forță care împinge racheta înainte.

În figura 185 se dă schema de principiu a unui *motor rachetă cu lichid*.

Părțile principale ale motorului sînt: camera de ardere *(1)*, ajutajul de reacție *(2)* și chiulasa *(3)*, în care se află injectoarele pentru injecția în cameră a componenților lichizi ai amestecului — combustibilul și oxidantul lichid. Acești componenți sînt introduși în camera de ardere fie prin pompe, fie prin presiunea unor gaze comprimate din butelii. Amestecul este aprins de către o bujie specială incandescentă *(4)*. Gazele de ardere formate în cameră sînt împinse cu mare viteză în ajutajul de reacție *(2)*, producînd forțe

Scanned with OKEN Scanner

de reacțiune care împing aparatul în direcție opusă scurgerii gazelor.

După felul componenților amestecului, rachetele cu lichid se împart în:

— rachete cu oxigen,
— rachete cu acid azotic,
— rachete cu apă oxigenată (peroxid de hidrogen).

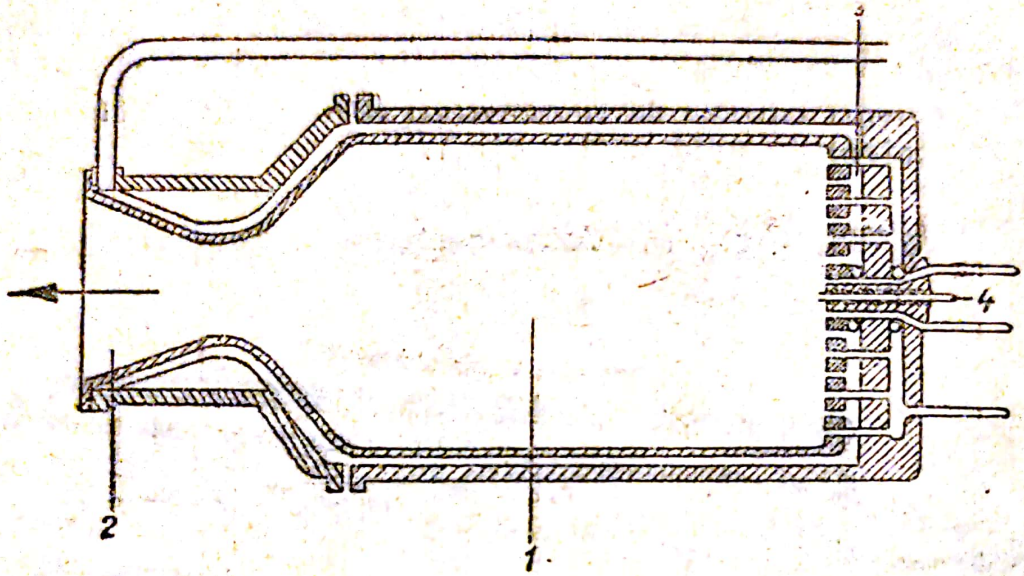

Fig. 185. — Motor rachetă cu lichid.

Un motor aeroreactor, de asemenea simplu, este *pulsoreactorul* (fig. 186). După cum arată și denumirea lui, el funcționează cu pulsații. În principiu, pulsoreactorul este alcătuit dintr-un tub prevăzut la partea anterioară cu o supapă care se poate deschide spre interior. În camera de ardere *(CA)*, pătrunde aerul din exterior, precum și combustibilul prin injectare. Printr-o bujie de pornire, amestecul se aprinde și arde. Gazele de ardere, la temperatură ridicată,

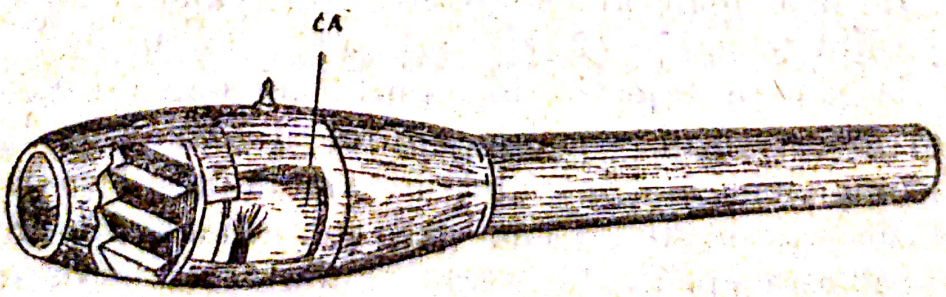

Fig. 186. — Pulsoreactorul.

măresc presiunea în interiorul camerei de ardere, închid supapa de admisie din față și sînt evacuate cu viteză mare prin partea dinapoi a motorului. Datorită inerției, gazele continuă să iasă chiar după ce în camera de ardere presiunea a scăzut pînă la presiunea atmosferică. Din această cauză, se formează în camera de ardere o depresiune, care face ca supapa de admisie să se deschidă. Atunci, în camera de arde-

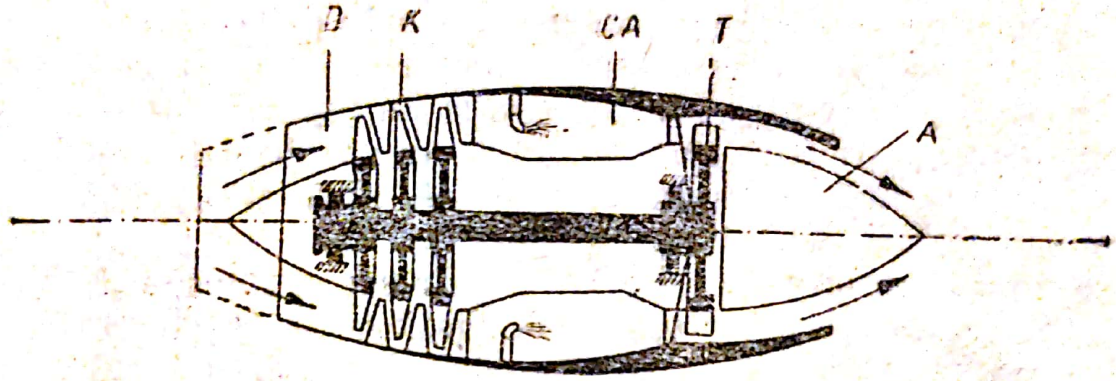

Fig. 187. — Turboreactorul.

re, pătrunde iar aer proaspăt și iar se injectează combustibil; urmează arderea și astfel ciclul se repetă.

Astăzi, cel mai răspîndit motor aeroreactor este turboreactorul (fig. 187). El funcționează astfel: compresorul *(K)* absoarbe aerul din fața avionului, aerul pătrunde prin difuzorul *(D)* și este comprimat tot de compresor în camera de ardere *(CA)*, în care se injectează un combustibil lichid. Aici combustibilul arde, iar gazele arse sînt evacuate înapoi cu viteză mare, prin ajutajul de reacție *A*, creînd prin reacție forța de împingere. În drumul lor, gazele arse trec printre paletele turbinei *(T)*, pe care o pun în mișcare și care rotește compresorul fixat pe același ax cu turbina.

167. Lansarea sateliților artificiali. Ziua de 4 octombrie 1957 reprezintă începutul unei ere noi pentru omenire: era cercetării spațiilor interplanetare și cosmice. În această zi a fost lansat în U.R.S.S. primul satelit artificial al Pămîntului, **Sputnik 1**. Lansarea acestui satelit a dovedit întregii omeniri nivelul înalt al științei sovietice, care a pășit în fruntea tuturor țărilor, stăpînind tehnica cea mai complexă, necesară construcției și teleghidării rachetelor.

După scurt timp a fost lansat al doilea și apoi al treilea Sputnik.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru lansarea unui satelit pe orbită trebuie să se îndeplinească o mulțime de condiții. În primul rînd, satelitul trebuie ridicat la o înălțime mare, pentru a fi scos din regiunea în care ar întîmpina rezistența aerului.

În al doilea rînd, trebuie ca, ajuns la acea înălțime, satelitul să aibă o viteză foarte mare, dirijată tangențial față de raza Pămîntului. Mișcarea satelitului artificial pe orbita sa se face pe baza inerției, datorită vitezei inițiale pe care i-o transmite racheta purtătoare. Racheta de lansare a satelitului artificial trebuie să aibă o mare rază de acțiune și să fie teleghidată automat. Ținînd seama de faptul că racheta se ridică în spații fără aer, pe lîngă un combustibil cu mare putere calorică, racheta trebuie să aibă și comburantul necesar arderii (substanța oxidantă).

Pentru lansarea sateliților artificiali se folosesc rachete în trepte, cum a prevăzut K.E. Țiolkovski. Racheta totală se compune din mai multe trepte, fiecare din ele luată separat fiind o rachetă completă (fig. 188). În momentul cînd combustibilul din prima treaptă s-a terminat, aceasta se desprinde și cade, intrînd automat în funcțiune treapta următoare. În modul acesta, masa rachetei totale scade și deci forța de reacție imprimă rachetei o accelerație mai mare, iar viteza căpătată de rachetă într-un interval de timp este mai mare decît dacă racheta ar fi rămas întreagă. În figura 189, satelitul S se găsește în ultima treaptă. Racheta pornește vertical dintr-un punct P al Pămîntului, fiind antrenată de prima treaptă. În punctul A al traiectoriei se desprinde prima treaptă și cade la Pămînt. În punctul B al traiectoriei se desprinde și a doua treaptă. Traiectoria rachetei se înclină treptat și în mod automat, ajungînd în R la viteza de aproape 8 km/s și cu direcția orizontală. În acest moment se desprinde automat satelitul S din racheta purtătoare R și devine satelit, care se mișcă pe orbita sa, urmat de racheta purtătoare.

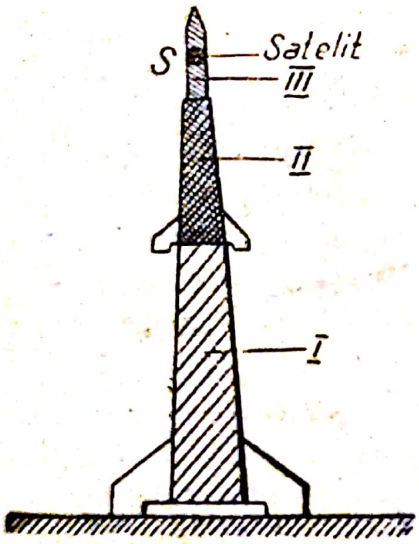

Fig. 188. — Racheta în trepte.

168. **Rachete cosmice teleghidate.** O nouă etapă în calea cercetării spațiului cosmic a fost marcată la 2 ianuarie 1959,

prin lansarea cu succes, tot în Uniunea Sovietică, a primei rachete cosmice îndreptate spre Lună. Ultima treaptă a acestei rachete cosmice a trecut prin vecinătatea Lunii, la numai 5 000 km de ea și a devenit apoi prima *planetă artificială* a sistemului solar. Pe porțiunea pe care motorul rachetei funcționa, ea a fost teleghidată prin radio, iar în momentul opririi motorului, racheta cosmică a depășit *a doua viteză cosmică*, adică 11,2 km/s. Prin lansarea cu succes a rachetei cosmice sovietice, omenirea a intrat în perioada zborurilor interplanetare.

Prima linie de transport cosmic Pămînt—Lună a fost inaugurată de a doua rachetă cosmică teleghidată, Lunnik II, lansată la 12 septembrie 1959. În ziua de 14 septembrie 1959, containerul de pe bordul ultimei trepte a rachetei cosmice a aselenizat, adică a sosit pe Lună, transportînd pe

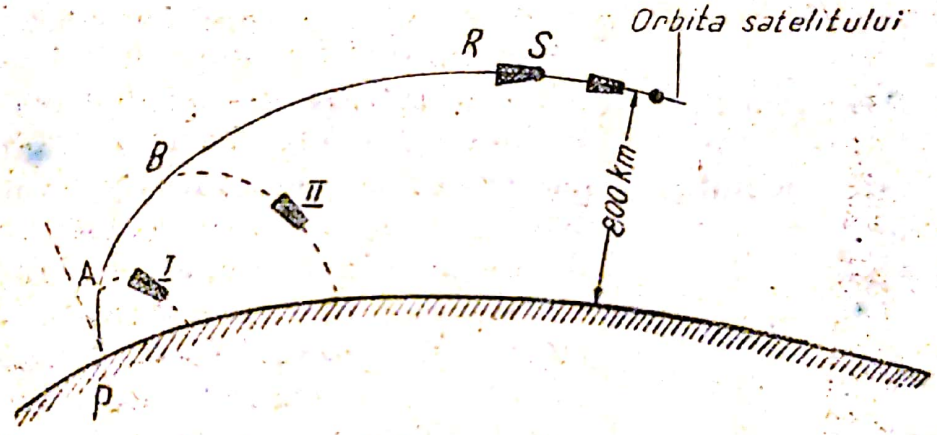

Fig. 189. — Racheta antrenată de prima treaptă.

Lună 391 kg de materie terestră, alcătuită din aparate de cercetări științifice, de radioemisie și un fanion cu stema U.R.S.S.

După numai 22 de zile, la 4 octombrie 1959, a fost lansată o nouă rachetă cosmică, Lunnik III, care a înconjurat Luna și a devenit o *stație automată interplanetară*, pentru cercetarea științifică a Cosmosului.

Această stație automată interplanetară de cercetare a fotografiat la 7 octombrie 1959, pentru întîia oară în istoria omenirii, fața opusă a Lunii și a transmis fotografia laboratoarelor terestre.

Lansarea stației automate interplanetare este rezultatul rezolvării cu succes a unor probleme matematice și tehnice

Scanned with OKEN Scanner

din cele mai complicate. Acest fapt dovedește imensa superioritate pe plan mondial a științei și tehnicii sovietice.

Succesele obținute în acest domeniu au permis realizarea unei nave cosmice pentru zboruri de lungă durată ale omului în spațiul cosmic.

La 12 aprilie 1961 a fost lansată în Uniunea Sovietică nava cosmică satelit „Vostok", avînd la bord pe aviatorul maior Iuri A. Gagarin. Nava a înconjurat Pămîntul în 108 minute și a aterizat în bune condiții pe teritoriul Uniunii Sovietice.

Acest prim zbor al omului în cosmos a fost urmat și de altele, de o durată din ce în ce mai lungă, care au fost încheiate cu succes. S-a dovedit că în condițiile imponderabilității omul își menține capacitatea de muncă, coordonarea mișcărilor și claritatea judecății. Rezultatele obținute asigură dezvoltarea continuă a zborurilor cosmice ale omului.

Primele zboruri ale omului în cosmos reflectă uriașele realizări ale științei și tehnicii sovietice și dovedesc superioritatea orînduirii sociale socialiste, cea mai înaintată din lume.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

HIDRO – ȘI AEROMECANICA

Hidro — și acrostatica 3
Proprietăți generale ale fluidelor. Transmiterea presiunii.. 3
Întrebări recapitulative 8
Probleme 10
Presiunea hidrostatică 10
Întrebări recapitulative 18
Probleme 18
Legea lui Arhimede și aplicațiile ei 19
Întrebări recapitulative 26
Probleme 26
Presiunea atmosferică 27
Întrebări recapitulative 34
Probleme 34
Legea Boyle și Mariotte 34
Întrebări recapitulative 40
Probleme 40
Lucrarea de laborator nr. 1 40
Hidro — și aerodinamica 43
Curgerea fluidelor 43
Întrebări recapitulative 46
Presiunea în fluidele perfecte aflate în mișcare staționară 46
Întrebări recapitulative 53
Rezistența la mișcarea corpurilor în lichide și gaze viscoase 53
Întrebări recapitulative 60
Bazele fizice ale zborului avionului 60
Energia hidraulică și eoliană 67
Întrebări recapitulative 70
Probleme 70

FIZICA MOLECULARĂ ȘI CĂLDURA

Bazele teoriei cinetico-moleculare 71
Întrebări recapitulative 78
Probleme 79
Măsurarea cantității de căldură și relația dintre cantitatea de căldură și lucru mecanic 79
Cantitatea de căldură și măsurarea ei 79
Întrebări recapitulative 89
Probleme 90
Primul principiu al termodinamicii 90
Întrebări recapitulative 96
Probleme 96
Lucrarea de laborator nr. 2 97
Dilatația corpurilor sub acțiunea căldurii 98

Scanned with OKEN Scanner

Dilatometrie 98
Termometre și termometrie 110
Întrebări recapitulative 116
Probleme 116
Proprietățile corpurilor gazoase 117
Întrebări recapitulative 127
Probleme 127
Lucrarea de laborator nr. 3 128
Lucrarea de laborator nr. 4 129
Proprietățile corpurilor lichide 131
Întrebări recapitulative 144
Probleme 144
Proprietățile corpurilor solide și noțiuni de rezistența materialelor 144
Corpuri cristaline și corpuri amorfe 144
Elasticitatea și rezistența materialelor 148
Întrebări recapitulative 159
Probleme 159
Lucrarea de laborator nr. 5 159
Schimbarea stării de agregare 160
Întrebări recapitulative 166
Probleme 167
Vaporizare și condensare 167
Lucrarea de laborator nr. 6 180
Întrebări recapitulative 182
Probleme 182
Întrebări recapitulative 188
Lucrarea de laborator nr. 7 191
Meteorologia și importanța ei pentru agricultură și aviație 192
Întrebări recapitulative 194
Probleme 195

MOTOARE TERMICE

Motoare termice cu ardere externă 201
Întrebări recapitulative 220
Probleme 220
Motoare termice cu ardere internă 221
Întrebări recapitulative 227
Probleme 228

Redactor responsabil : Munteanu Lidia
Tehnoredactor : Antoniu Liliana

Dat la cules 5.07.1962. Bun de tipar 18.01.1963. Apărut 1963. Tiraj 89.000×145 legat vinilin. Hîrtie tipar de 50 g/m², 54×84/16. Coli editoriale 14,521. Coli de tipar 15. Planșe A. 02032. C.Z. pentru bibliotecile mari 536 (075.3). C.Z. pentru bibliotecile mici 53.

Tiparul executat sub comanda nr. 20.728 la Combinatul Poligrafic „Casa Scînteii", Piața Scînteii nr. 1, București — R.P.R.

Scanned with OKEN Scanner

Conf. ne... ...

...

...

...

$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

$T_2 = 0 \text{ K} \Rightarrow \eta = 1$

...

...

...